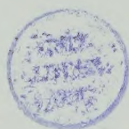


**ANALYSE DER ATEMSTROMSTÄRKE
IN DER ZWEITEN HÄLFTE DER FORCIERTEN
EXPIRATION BEI KINDERN MIT ASTHMA-SYNDROM**

VON
ANDREA KOCH

FRANKFURT AM MAIN 1984



Aus dem Zentrum der Kinderheilkunde der
Johann Wolfgang v. Goethe-Universität
-Abteilung für Allgemeine Pädiatrie II-
(Leiter: Prof. Dr. D. Hofmann)

Analyse der Atemstromstärke in der
zweiten Hälfte der forcierten Expiration
bei Kindern mit Asthma-Syndrom

INAUGURAL - DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin der
Johann Wolfgang von Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von Andrea Koch
aus Frankfurt am Main

Frankfurt am Main 1984

Dekan: Professor Dr. med. H. J. Müller
Referent: Professor Dr. med. D. Hofmann
Korreferent: Professor Dr. med. A. W. Mondorf

Tag der mündlichen Prüfung: 7. 11. 1984

Ich danke Herrn Professor D. Hofmann für die Über-
lassung des Themas und die fachliche Beratung sowie
den Schwestern des Lungenfunktionslabors für ihre
freundliche Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Methodik	3
2.1. Theoretische Grundlagen	3
2.1.1. Thorakales Gasvolumen	3
2.1.2. Atemwegswiderstand	5
2.1.3. Forcierte Vitalkapazität und Flußgeschwindigkeit	7
2.2. Meßapparatur und Meßmethodik	7
2.2.1. Thorakales Gasvolumen	8
2.2.2. Atemwegswiderstand	9
2.2.3. Forcierte Vitalkapazität und Flußgeschwindigkeit	11
2.3. Versuchsablauf	12
2.4. Kollektiv	13
3. Ergebnisse	16
3.1. Meßergebnisse vor und nach Belastung	16
3.1.1. Thorakales Gasvolumen	16
3.1.2. Atemwegswiderstand	21
3.1.3. Forcierte Vitalkapazität	26
3.1.4. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$	31
3.1.5. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$	36
3.1.6. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{90}$	40
3.1.7. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{95}$	44
3.2. Meßergebnisse nach Gabe von Berotec	48
3.2.1. Thorakales Gasvolumen	48
3.2.2. Atemwegswiderstand	51
3.2.3. Forcierte Vitalkapazität	54
3.2.4. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$	57

3.2.5.	Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$	60
3.2.6.	Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{90}$	62
3.2.7.	Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{95}$	65
3.3.	Vergleich der Parameter	68

4.	Diskussion	83
----	------------	----

5.	Zusammenfassung	92
----	-----------------	----

Literaturverzeichnis	94
----------------------	----

Lebenslauf

Ehrenwörtliche Erklärung



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523717_0020

1. EINLEITUNG

Seit vielen Jahren wird über das Thema Bronchialasthma intensiv geforscht. Es ist eine der häufigsten chronischen Atemwegserkrankungen bei Kindern. Man geht heute davon aus, daß das Bronchialasthma durch eine Hyperirritabilität der Bronchialschleimhaut auf die verschiedensten Reize, seien sie allergischer, infektiöser, physikalischer, chemischer oder psychischer Art, ausgelöst wird. Auch körperliche Anstrengung kann bei dispozierten Patienten, d.h., bei Patienten mit Asthma oder Heuschnupfen zur Atemwegsobstruktion, dem sogenannten Anstrengungsasthma (Exercise-induced Asthma, EIA), führen.

Durch die Anwendung moderner Technologie ist es gelungen, mit Hilfe spirometrischer und ganzkörperplethysmographischer Untersuchungen, Erkenntnisse über die Atemmechanik zu gewinnen. Dennoch ist die Frage nach der Lokalisation der Obstruktion im Bronchialsystem weitgehend ungeklärt. Das Interesse konzentriert sich in letzter Zeit zunehmend auf die peripheren Atemwege mit einem Innendurchmesser von weniger als zwei Millimeter, "small airways", unter der Annahme, eine Erkrankung der Atemwege in dieser untersuchungstechnisch schwer zu erfassenden Zone stelle eine frühe, möglicherweise noch reversible Manifestation der chronischen obstruktiven Bronchitis und des Emphysems dar (49).

Über die Pathogenese des allergisch bedingten Asthma-Syndroms ist seit der Entdeckung des IgE-Antikörpers eine Modellvorstellung entwickelt worden. Demgegenüber sind Ursache und Art des Exercise-induced Asthma noch völlig ungeklärt.

Einige Autoren (63) diskutieren, daß bestimmte Stoffwechselprodukte, besonders Milchsäure und freie Fettsäure, in der Pathogenese des Anstrengungsasthma eine Rolle

spielen. Nach ISLAM (38) führt die inspiratorische Belastung zu einer Veränderung der Bronchomotorik. AUSTEN (2) nimmt an, daß eine Verminderung des zyklischen Adenosinmonophosphat ($3'5'$ cAMP) durch Stimulation der Alpha-Rezeptoren auslösende Bedeutung hat. MCFADDEN (43) diskutiert als entscheidenden Faktor der Pathogenese des Anstrengungsasthma einen Wärmeverlust der Atemwege durch Abkühlung der Schleimhaut bei heftiger In- und Expiration während der Belastung.

Anhand der Untersuchung verschiedener Lungenfunktionsparameter und deren Änderung durch körperliche Belastung bei 25 lungengesunden Kindern und 25 Kindern mit Asthma-Syndrom, fielen LINN und GLASEMANN (40) unterschiedliche Ergebnisse zwischen beiden Gruppen auf, sowohl bei der Untersuchung vor der körperlichen Belastung, in Ruhe, besonders aber direkt im Anschluß an die Belastung. Legt man die Lungenfunktionswerte lungengesunder Kinder als Normwerte zugrunde, so fanden sich bei den Kindern mit Asthma-Syndrom häufiger pathologische Reaktionen bei den Parametern, die in ruhiger Atmung bestimmt wurden (thorakales Gasvolumen, Atemwegswiderstand und spezifischer Atemwegswiderstand), als bei forcierten Atemmanövern (forcierte Vitalkapazität, Sekundenkapazität, Tiffeneau-Index und maximale Atemstromstärke). Weitere Ergebnisse der Studie waren die Beobachtung einer größeren Streuung der Meßwerte bei Kindern mit Asthma-Syndrom und eine verstärkte pathologische Reaktion auf die Belastung mit zunehmender Körpergröße.

Ziel dieser Studie ist es nun zu überprüfen, ob sich die Beobachtungen von LINN und GLASEMANN bei größeren Stichproben ändern. Ein weiteres Ziel ist die Analyse der forcierten Atemmanöver dahingehend, ob sie zum einen Erkenntnisse über das Verhalten der Kinder mit Asthma-Syndrom insgesamt und zum anderen über Ort und Art der Veränderungen durch körperliche Belastung bringen.

2. METHODIK

2.1. Theoretische Grundlagen der mechanischen Analyse der Atmung

Grundlage der Analyse der Lungenfunktion ist die Erfassung der Atembewegungen und damit der Volumenveränderungen und der wirksamen Kräfte und Gegenkräfte bzw. Drucke. Die Darstellung der Zusammenhänge zwischen Druck und Volumen erst erlaubt Aussagen über die mechanischen Eigenschaften der Lunge, die im Wesentlichen durch Elastizität und Viskosität (=Reibung) bestimmt werden.

Dazu sind in der vorliegenden Studie folgende Meßparameter bestimmt worden:

- Thorakales Gasvolumen (TGV) am Ende einer normalen Expiration, entsprechend der funktionellen Residualkapazität (FRC)
- Atemwegswiderstand (R_{aw})
- Forcierte Vitalkapazität (FVC)
- Strömungsgeschwindigkeit (=Flow= $\dot{V}$) zu verschiedenen Zeitpunkten der forcierten Expiration

2.1.1. TGV

Eine Beziehung zwischen Druck (p) und Volumen (V) stellt das Boyle-Mariotte'sche Gesetz für ideale Gase her:

$$p \cdot V = \text{konstant} \quad (1)$$

Bei konstanter Temperatur ist in einem geschlossenen System das Produkt aus Druck und Volumen eines Gases konstant.

DUBOIS hat dieses Gesetz so umgeformt, daß es zur Beschreibung von Atembewegungen verwendet werden kann:

$$P_A \cdot V_L = (P_A \pm \Delta P_A) (V_L \pm \Delta V) \quad (2)$$

V_L = intrathorakales Volumen
 P_A = Alveolardruck
 ΔV_L = Änderung des intrathorakalen Volumens während der Atmung
 ΔP_A = Änderung des Alveolardruckes während der Atmung

Die Gleichung besagt nun, daß das Produkt aus einem Lungenvolumen V_L und seinen Schwankungen ΔV_L während der Atmung und dem zugehörigen Alveolardruck P_A und seinen Veränderungen ΔP_A konstant ist.

Löst man Gleichung (2) nach der gesuchten Größe V_L auf, so erhält man folgende Formel:

$$V_L = \frac{\Delta V}{\Delta P_A} (P_A \pm \Delta P_A) \quad (3)$$

Der Alveolardruck entspricht in Ruhe dem Barometerdruck P_B (etwa 1000 cmH₂O), $P_A = P_B \pm \Delta P_A$, die durch die Atembewegung verursachte Abweichung vom Barometerdruck ist gegenüber diesem so klein (etwa 10-20 cmH₂O), daß das Produkt $\Delta V \cdot \Delta P_A$ vernachlässigt werden kann. Die Gleichung lautet dann vereinfacht:

$$V_L = \frac{\Delta V}{\Delta P_A} P_B \quad (4)$$

Wenn man nun noch berücksichtigt, daß die Luft in der Lunge zu 100% mit Wasserdampf gesättigt ist, kann die Gleichung direkt zur Bestimmung des thorakalen Gasvolumens verwendet werden. Die Wasserdampf-moleküle sind bei konstanter Temperatur unendlich kompressibel, der Wasserdampfdruck ($P_{H_2O} = 47$ mm Hg bei 37°C) ändert sich also bei dem Atemmanöver nicht. Deshalb ist in Gleichung (4) der Barometerdruck um den Wasserdampfdruck P_{H_2O} zu reduzieren. Die Gleichung lautet nun:

$$V_L = \frac{\Delta V}{\Delta P_A} (P_B - P_{H_2O}) \quad (5)$$

Die Bestimmungen von ΔV und ΔP_A werden in einem Ganzkörperplethysmographen durchgeführt. Die Umformung der Gleichung (5) zur Anpassung an die Bedingungen der Plethysmographenkammer wird im Anschluß an die Beschreibung der Meßapparatur (s. S.8f) wiedergegeben.

2.1.2. R_{aw}

Analog dem Ohm'schen Widerstand der Elektrizitätslehre und dem Strömungswiderstand einer Newton'schen Flüssigkeit, kann man den Atemwegswiderstand R_{aw} definieren als Quotient aus der treibenden Druckdifferenz ΔP_A und der Volumenstromstärke $\dot{V}$:

$$R_{aw} = \frac{\Delta P_A}{\dot{V}} \quad (6)$$

Dies gilt aber nur für laminare Strömungen, d.h. $\Delta P_A \sim \dot{V}$. Im Fluß (Atemstromstärke) - Druck-Diagramm stellt sich die Beziehung idealerweise als eine Gerade dar, die durch den Ursprung des Koordinatensystems verläuft (s. Abb.1).

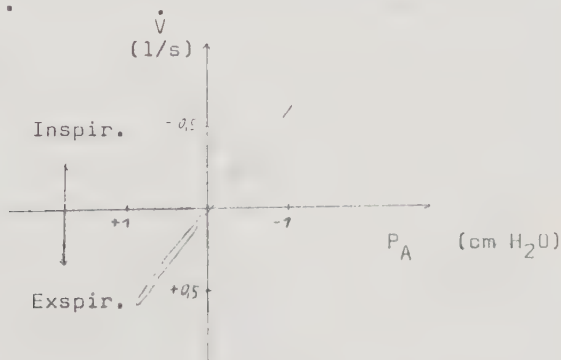


Abb. 1 Beziehung zwischen Volumenstromstärke $\dot{V}$ (l/s) und Druck (cm H₂O) bei annähernd laminarer Strömung aus Schmidt/Thews S.466 (59)

Gleichung (6) ist in dieser Form für die Berechnung des Atemwegswiderstandes noch nicht verwendbar, da der Alveolardruck nicht direkt gemessen werden kann. Schafft man ein geschlossenes System, indem man den Probanden aus einem unendlich komplianten Douglassack Luft unter BTPS-Bedingungen (37°C, 100% Wasserdampfsättigung) atmen läßt, findet wiederum das Boyle-Mariotte'sche Gesetz Anwendung. Löst man Gleichung (5) nach dem gesuchten Alveolardruck P_A auf, so erhält man folgende Gleichung:

$$\Delta P_A = \frac{\Delta V}{V_L} (P_B - P_{H_2O}) \quad (7)$$

Diese Gleichung kann nun in Gleichung (6) eingesetzt werden:

$$R_{aw} = \frac{\Delta V}{\dot{V}} \cdot \frac{P_B - P_{H_2O}}{V_L} \quad (8)$$

R_{aw} wird in Atemmittellage bestimmt, d.h., das Lungenvolumen V_L setzt sich aus der funktionellen Residualkapazität (FRC) und dem halben Atemzugvolumen (0,5 AZV) zusammen. Die Gleichung lautet nun:

$$R_{aw} = \frac{\Delta V}{\dot{V}} \cdot \frac{P_B - P_{H_2O}}{FRC + 0,5 \text{ AZV}} \quad (9)$$

Die Berechnung des Atemwegswiderstandes ist nun möglich, da sich der Alveolardruck über eine Analogiegröße (Kammervolumenschwankungen ΔV_B des Ganzkörperplethysmographen) indirekt und das Strömungsvolumen $\dot{V}$ über einen Pneumotachographen direkt messen läßt.

Die praktische Vorgehensweise und die Anpassung der Gleichung (9) an die Bedingungen des Plethysmographen werden nachfolgend beschrieben.

2.1.3. FVC und Flußgeschwindigkeit

Die forcierte Vitalkapazität setzt sich aus dem Atemzugvolumen und dem inspiratorischen und expiratorischen Reservevolumen zusammen. Sie wurde hier im forcierten Atemmanöver gemessen (siehe Kapitel "Meßapparatur und Meßmethoden" , S. 11).

Mathematisch gesehen entspricht die Flußgeschwindigkeit $\dot{V}$ zu einem bestimmten Zeitpunkt dem Differentialquotienten der Volumenänderung nach der Zeit und somit graphisch der Steigung der Tangente bzw. Sekante in dem zugehörigen Punkt der Volumen-Zeit-Kurve (s. Abb. 4).

2.2. Meßapparatur und Meßmethodik

Wir führten sämtliche Untersuchungen mit einem "volume-displacement"-Ganzkörperplethysmographen der Firma Fenyves & Gut, Basel, durch. Bei diesem Plethysmographen handelt es sich um eine luftdicht abgeschlossene Kammer, in welcher der Proband mit durch eine Klammer verschlossener Nase sitzt und über ein Mundstück Luft aus einem Rückatmungsbeutel atmet. Dieser sogenannte Douglassack wird auf 37°C und 100% Wasserdampfsättigung (BTPS-Bedingungen) gebracht. Er ist ausreichend groß (40l), um einen Einfluß seiner Wandträgheit und Compliance auf den Atemwegswiderstand zu verhindern. Der Druck im Innern der Kammer entspricht zu jeder Zeit dem Kammerumgebungsdruck, d.h., dem Atmosphärendruck.

Jede inspiratorische und expiratorische Atembewegung führt zu gegensinnigen Kammerdruck- und damit auch Kammervolumenschwankungen, deren Strömungsgeschwindigkeit von einem hochempfindlichen Pneumotachographen registriert und elektronisch zur Kammervolumenschwankung integriert wird (Flußintegration). Nach Eichung mit einem Proportionalitätsfaktor ist es möglich, indirekt über den Umweg der Kammervolumen- (ΔV_B) und -druckänderung

ΔP_B), die intraalveolären Volumen- (ΔV_A) und Druckschwankungen (ΔP_A) zu erfassen.

Vor dem Mundstück, durch welches das Kind atmet, ist ein zweiter Pneumotachograph eingeschaltet, der die Strömungsgeschwindigkeit $\dot{V}$ (= Atemstromstärke) sowie durch Flußintegration das Atemvolumen V_M bei In- und Expiration mißt, so daß neben dem Pneumotachogramm gleichzeitig das Spirogramm mitgezeichnet wird.

Proximal davon befindet sich ein Manometer, das den Druck im Bereich des Mundstückes, P_M , mißt. Wird das Mundstück durch eine Klappe verschlossen, ist der Atemstrom also unterbrochen ($\dot{V} = 0$), und fordert man das Kind nun auf, gegen den unendlich großen Widerstand ruhig und regelmäßig weiterzuatmen, so entspricht in diesem Moment, nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren, der gemessene Munddruck P_M dem Alveolardruck P_A .

Mit dem Ganzkörperplethysmographen können somit folgende Parameter direkt bestimmt werden:

ΔV_B = Kammervolumenveränderung
 $\dot{V}_M$ = Atemstromstärke (am Mund gemessen)
 V_T = Atemzugvolumen (am Mund gemessen)
 P_M = Druck (am Mund gemessen)

Diese Werte werden auf einem Magnetband gespeichert und bei der Wiedergabe mit 1:4 verlangsamer Bandgeschwindigkeit über einen x, y-Schreiber aufgezeichnet. Somit können auch schnelle Atemmanöver verzerrungsfrei dargestellt werden.

2.2.1. TGV

Da wir die durch in- und expiratorische Atembewegungen verursachten intrathorakalen Volumenschwankungen ΔV als gegensinnige Kammervolumenänderungen ΔV_B registrieren können und der Alveolardruck P_A bei Unterbrechung des

Atemstroms dem Munddruck P_M entspricht, können wir die Gleichung (5) folgendermaßen für die Bestimmung des TGV verändern:

$$V_L = \frac{\Delta V_B}{P_M} \cdot (P_B - P_{H_2O}) \cdot e - 180 \text{ cm}^3 \quad (10)$$

e ist ein Eichfaktor, der für unseren Plethysmographen spezifisch ist. 180 cm^3 beträgt das Totraumvolumen zwischen Mund und Schließklappe, das in das Ergebnis eingeht.

Die Bestimmung des TGV wird am Ende einer ruhigen Expiration vorgenommen, entsprechend der funktionellen Residualkapazität FRC. Der Proband führt zunächst einige Atemzüge in Ruheatmung aus, um die Kammertemperatur zu stabilisieren. Anschließend wird das Mundstück kurzzeitig verschlossen und der Proband wird aufgefordert, gegen den Widerstand langsam und gleichmäßig weiterzuatmen. Die Kammervolumenschwankungen werden mit Hilfe des x,y-Schreibers auf der y-Achse gegen die Änderung des Munddruckes ΔP_M auf der x-Achse aufgezeichnet. Nach der Formel:

$$\text{TGV} = \frac{y}{x} (P_B - 47) e - 180 \text{ cm}^3 \quad (11)$$

wird nun das TGV berechnet.

Wird die Messung nicht in Atemruhelage bestimmt, so muß das noch nicht ausgeatmete oder wieder eingeatmete Volumen abgezogen werden.

2.2.2. R_{aw}

Für die Berechnung des R_{aw} werden 5-10 Atemzyklen des Probanden bei ruhiger Atmung aufgezeichnet, wobei für jeden Atemzyklus einmal die Atemstromstärke $\dot{V}$ und einmal die Kammervolumenschwankung ΔV_B jeweils auf der y-Achse gegen das Atemzugvolumen V_M auf der x-Achse eines

Koordinatensystems aufgetragen wird (s. Abb. 2,3).

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die so gewonnenen Kurven. Die Strecken $\overline{AB}$ bzw. $\overline{A'B'}$ werden halbiert und in der Mitte M bzw. M' errichtet man die Senkrechte. Die Strecke $\overline{CD}$ entspricht der Kammervolumenschwankung ΔV_B , die Strecke $\overline{AM}$ dem halben Atemzugvolumen (0,5 AZV). Die Strecke $\overline{C'D'}$ entspricht der Änderung der Atemstromstärke $\dot{V}$. FRC haben wir bereits bestimmt. Nun kann man Gleichung (9) folgendermaßen umformen:

$$R_{aw} = \frac{\overline{CD}}{\overline{C'D'}} \frac{P_B - 47}{FRC + 0,5 V_M} k \quad (12)$$

k ist ein für den Plethysmographen spezifischer Eichfaktor.

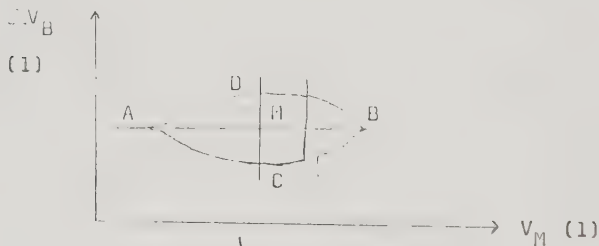


Abb. 2 Kurve zur Bestimmung des R_{aw}

$$\overline{CD} = \Delta V_B, \quad \overline{AM} = 0,5 \text{ AZV}$$

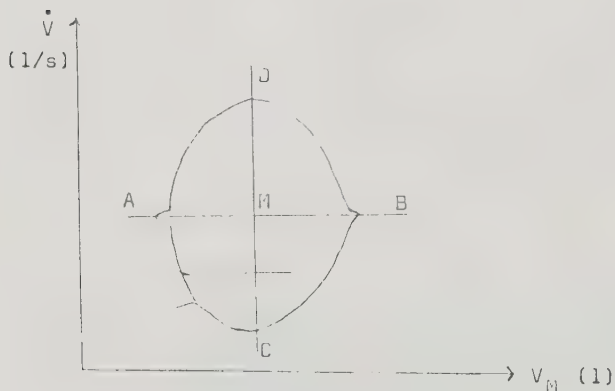


Abb. 3 Kurve zur Bestimmung des R_{aw}

$$\overline{C'D'} = \dot{V}, \quad \overline{A'M} = 0,5 \text{ AZV}$$

2.2.3. FVC und Flußgeschwindigkeit

Für die Bestimmung dieser Lungenfunktionsparameter wird das Kind angewiesen, maximal einzuatmen, die Luft einen Moment anzuhalten und dann so schnell und tief wie möglich auszuatmen. Ein Pneumotachograph mißt die Atemstromstärke, bzw. durch Flußintegration das Atemvolumen. Mit einem x-y-Schreiber wird die Zeit auf der x-Achse gegen das Volumen auf der y-Achse aufgetragen. Die forcierte Vitalkapazität läßt sich unter Berücksichtigung der Schreiberübersetzung direkt aus dieser Volumen-Zeit-Kurve entnehmen. Sie entspricht in der Abbildung 4 der Strecke a. Die Flußgeschwindigkeiten ermittelten wir als Steigung der Tangenten durch die Punkte der Volumen-Zeit-Kurve bei 50% der FVC ($\dot{V}_{50}$), bei 90% ($\dot{V}_{90}$) und bei 95% ($\dot{V}_{95}$) der FVC und als Steigung der Sekante, die bei 25% und 75% der FVC die Volumen-Zeit-Kurve schneidet ($\dot{V}_{25-75}$). Die graphische Methode der Ermittlung der Flußgeschwindigkeit hat vor allen Dingen im "effort-dependent"-Anfangsteil der Kurve eine erhebliche Fehlerbreite durch schnelle Änderung der Flußgeschwindigkeit. Im unteren Teil der Kurve ("effort-independent") ist dieser Fehler nur noch gering und kann daher weitgehend vernachlässigt werden, da sich die Flußgeschwindigkeit hier nur langsam ändert.

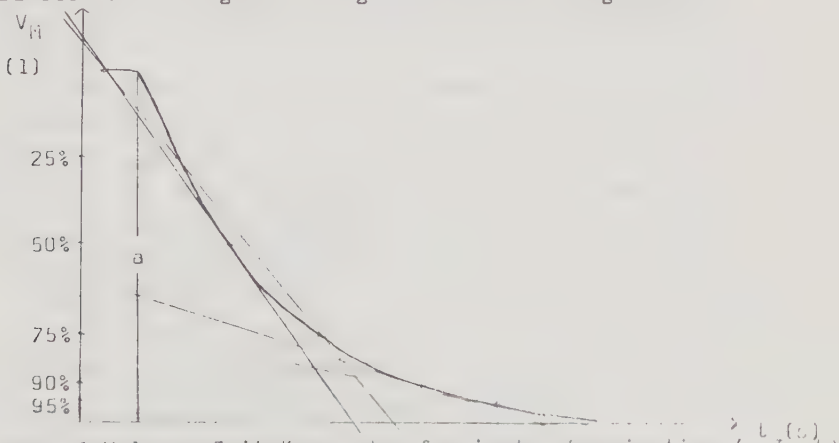


Abb. 4 Volumen-Zeit-Kurve der forcierten Expiration (c. Text)

2.3. Versuchsablauf

Sämtliche Untersuchungen wurden in der Zeit vom 19.3.79 bis zum 22.4.81 durchgeführt. Um den Einfluß tageszeitlicher Schwankungen der Leistungsfähigkeit möglichst gering zu halten, wurden die Untersuchungen nachmittags zwischen 14 und 16 Uhr vorgenommen. Vor Untersuchungsbeginn wurden die Kinder mit dem Ganzkörperplethysmograph vertraut gemacht. Atemmanöver wurden, soweit nötig, eingeübt. Dies ist besonders für die Untersuchung der forcierten Atemmanöver wichtig, deren Messungen, wie WIESEMANN, VON DER HARDT (67), RACINEUX (57) u.a. bereits dargestellt haben, in Abhängigkeit von der Kooperation bedeutende intraindividuelle Schwankungen aufweisen.

Direkt im Anschluß erfolgte die Belastung durch freies Laufen unter möglichst standardisierten Bedingungen in einem 65 Meter langen Korridor des Untergeschosses der Kinderklinik. Der Korridor war insofern für die Belastung geeignet, als er eine weitgehende Konstanz gegenüber klimatischen Schwankungen und eine geringe Allergenbelastung aufwies. Die Kinder mußten sechs Minuten lang im Korridor hin- und herlaufen, wobei die Pulsfrequenz mindestens 180 Schläge pro Minute erreichen sollte. Es handelte sich somit um eine maximale Belastung.

Nach der Belastung durften sich die Kinder zwei Minuten ausruhen, danach wurde mit der zweiten ganzkörperplethysmographischen Untersuchung begonnen. Diese wurde zwischen der zweiten und siebten Minute nach Beendigung der Belastung durchgeführt, weil in dieser Zeit, wie SILVERMAN und ANDERSON (60) gezeigt haben, die stärksten Reaktionen auf die Belastung erwartet werden dürfen.

Bei 47 der 82 Kinder wurde einige Minuten später noch eine dritte Untersuchung nach Inhalation von Bero-tec-Dosier-Aerosol vorgenommen. Die Untersuchung entsprach im Ablauf den vorausgegangenen vor und nach der Belastung.

2.4. Kollektiv

Es wurden 82 Kinder, Patienten des Zentrums der Kinderheilkunde der Universitätsklinik Frankfurt am Main, untersucht. Die Kinder befanden sich wegen eines Asthma-Syndroms in ambulanter Behandlung. Zum Zeitpunkt der Untersuchung mußten die Kinder klinisch symptomfrei sein, das heißt ohne Dyspnoe und ohne auskultatorischen Befund. Die Kinder wurden unselektiert in der Reihenfolge ihres Kommens untersucht. In der chronologischen Reihenfolge der Untersuchung wurden ihnen die Zahlen 1-82 zugeordnet.

Wie bereits erwähnt, wurde bei einer unselektierten Gruppe von 47 der 82 Kinder eine dritte Untersuchung nach Belastung nach Inhalation von Berotec-Dosier-Aerosol vorgenommen.

Das Kollektiv setzte sich aus 47 Jungen und 35 Mädchen im Alter zwischen 6 und 15 Jahren zusammen. Die Körpergröße lag zwischen 121 cm (Kind Nr. 38) und 183,5 cm (Kind Nr. 49) und betrug im Mittel 150,9 cm. Das Körpergewicht lag zwischen 21 kg (Kind Nr. 41, 43, 44, 46 und 50) und 70 kg (Kind Nr. 49) und betrug durchschnittlich 44,4 kg. Der Größe nach teilten wir die Kinder in zwei Gruppen ein. Die Kinder der Gruppe I waren größer oder gleich 150 cm, mit einer durchschnittlichen Körpergröße von 163,9 cm, die Kinder der Gruppe II waren kleiner als 150 cm, wobei die durchschnittliche Körpergröße 136 cm betrug.

Da die verwandten Lungenfunktionsparameter zum Teil Abhängigkeiten von der Lungengröße des Kindes zeigen, wurde die Körpergröße als Referenzparameter eingeführt. Verwandt wurden für die Bestimmung des TGV, des R_{aw} und der FVC Vergleichswerte, welche von LINN und GLASEMANN (40) an einem Kollektiv gesunder Kinder ermittelt wurden. Für die Bestimmung der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$ bezogen wir uns auf von GEUBELLE erstellte Vergleichswerte.

Tabelle 1

Nr.	Geschlecht w/m	Größe (cm)	Gewicht (kg)
-----	-------------------	---------------	-----------------

1	w	157,5	42,0
2	m	129,5	26,5
3	m	163,0	59,6
4	m	132,0	23,0
5	m	167,0	60,0
6	m	159,0	69,0
7	w	130,5	24,0
8	m	159,0	69,0
9	w	160,5	49,5
10	m	159,0	69,0
11	m	159,0	69,0
12	w	154,0	42,0
13	w	160,5	49,5
14	w	145,0	42,0
15	w	145,0	42,0
16	w	160,5	49,5
17	w	160,5	49,5
18	w	145,0	42,0
19	m	175,0	57,0
20	w	140,0	38,0
21	m	145,0	42,0
22	m	127,0	27,0
23	w	140,0	38,0
24	m	127,0	27,0
25	m	147,0	39,5
26	w	158,0	40,7
27	m	127,0	27,0
28	m	137,5	31,1
29	w	140,0	38,0
30	w	152,5	40,0
31	w	140,0	38,0
32	m	127,0	27,0
33	m	138,0	39,0
34	m	173,0	65,0
35	w	174,0	61,0
36	w	174,0	61,0
37	w	132,5	37,5
38	m	121,0	25,0
39	m	152,0	41,0
40	m	122,5	24,0
41	m	127,5	21,0
42	w	171,0	50,0
43	m	127,5	21,0
44	m	127,5	21,0
45	w	164,0	48,2
46	w	127,5	21,0

Forts. Tabelle 1

Nr.	Geschlecht w/m	Größe (cm)	Gewicht (kg)
47	m	144,0	38,5
48	w	164,0	48,2
49	m	183,5	70,0
50	m	127,5	21,0
51	w	145,0	34,0
52	w	149,0	37,0
53	w	159,0	51,5
54	w	145,0	34,0
55	m	130,5	25,9
56	w	159,0	51,5
57	m	130,5	25,9
58	m	167,5	50,0
59	m	147,0	40,0
60	w	159,5	51,2
61	m	166,5	51,0
62	w	138,5	35,4
63	w	158,0	48,0
64	m	155,5	35,0
65	m	174,0	69,0
66	m	168,0	67,4
67	w	138,5	35,4
68	m	166,5	51,0
69	m	168,0	67,4
70	w	159,5	51,2
71	m	166,5	51,0
72	m	168,0	67,4
73	m	166,5	51,0
74	m	168,0	67,4
75	m	168,0	67,4
76	m	171,0	52,6
77	m	156,5	39,5
78	m	138,5	28,5
79	m	169,0	66,0
80	w	146,5	40,0
81	w	141,0	39,0
82	m	155,0	54,7

Tab. 1 Durchnummerierung der Kinder von 1-82 nach der chronologischen Reihenfolge der Untersuchung mit Angabe des Geschlechts (m=männlich, w=weiblich), der Körpergröße in cm und des Körpergewichts in kg zum Zeitpunkt der Untersuchung.

3. ERGEBNISSE

3.1. Meßergebnisse vor und nach Belastung

3.1.1. TGV

Tabelle 2 zeigt den Normwert des thorakalen Gasvolumens bezüglich der Körpergröße, der nach einer von LINN und GLASEMANN ermittelten Regressionsgleichung:

$$\text{TGV}_{\text{soll}} = 68,15 \times e^{0,01957197 \times \text{Größe}} \quad (13)$$

berechnet wurde, die Absolutwerte des TGV vor und nach Belastung sowie die Abweichung vom Sollwert in Prozent und die Differenz der Meßwerte vor und nach Belastung in Prozent des Wertes vor Belastung.

Beim ersten Überblick findet man eine Abhängigkeit der Absolutwerte von der Körpergröße, welche die Differenzwerte nicht mehr aufweisen. Vor Belastung war der Meßwert des thorakalen Gasvolumens, außer bei den Kindern Nr. 58 und 81, zum Teil ganz erheblich über dem berechneten Sollwert. Das thorakale Gasvolumen betrug im Durchschnitt 2,322 l, die Standardabweichung betrug 39,56%. Das größte TGV hatte Kind Nr. 19 mit 5,599 l, das kleinste TGV hatte Kind Nr. 57 mit 0,964 l. Der Sollwert beträgt im Mittel 1,382 l, die Standardabweichung ist 32,55%, das Maximum liegt bei 2,473 l, das Minimum bei 0,728 l.

Bei 51 der 82 Kinder (62,2%) lag der Meßwert des TGV oberhalb der doppelten Standardabweichung.

Der Vergleich der Mittelwerte der gemessenen Werte mit den Normwerten gesunder Kinder zeigt einen signifikanten Unterschied ($t = 8,327$, $p < 0,0025$), der Korrelationskoeffizient beträgt 0,68. Das Ergebnis entspricht unserer Erwartung, daß Kinder mit einem Asthma-Syndrom ein gegenüber der Norm erhöhtes thorakales Gasvolumen aufweisen.

Die Kinder der Gruppe I (≥ 150 cm, $n=44$) wiesen eine mittlere Erhöhung des TGV von 65,40% auf, die Standardabweichung betrug 36,84%. Die Kinder der Gruppe II (< 150 cm, $n=38$) hatten eine mittlere Erhöhung des TGV von 74,48% bei einer Standardabweichung von 48,58%. Der Vergleich der Mittelwerte beider Differenzen ergab keinen signifikanten Unterschied, auffällig war lediglich die größere Streuung der Werte bei den kleineren Kindern.

Der Mittelwert des TGV betrug nach Belastung 2,652 l, die Standardabweichung betrug 36,37%, das größte TGV hatte Kind Nr. 19 mit 4,757 l, das kleinste TGV fand sich bei Kind Nr. 44 mit 1,140 l.

Die Differenz zwischen den Mittelwerten des TGV nach Belastung und des Sollwertes ist gegenüber vor Belastung größer geworden, der Korrelationskoeffizient betrug nunmehr 0,86 statt 0,68 vor Belastung. Diese Beobachtung bestätigt auch der t-Test für abhängige Werte, der sowohl für den Vergleich der Absolutwerte, als auch für die Abweichung in Prozent des Sollwertes einen hochsignifikanten Unterschied aufweist ($t = 15,21$, $p < 0,0025$).

Ein Kind (Nr. 69) lag mit 1,778 l nach Belastung um 2,63% unter dem Normwert und konnte sich damit gegenüber dem Ausgangswert vor Belastung (3,442 l) um 48,34% verbessern. Alle anderen Kinder hatten höhere, als dem Sollwert entsprechende Werte. Oberhalb des 2 SD-Bereichs lagen 69 der 82 Kinder, das sind 18 Kinder mehr als vor Belastung.

Die Kinder der Gruppe I hatten nach Belastung im Durchschnitt eine Abweichung von 82,08% vom Sollwert, die Standardabweichung betrug 48,83%. Die Kinder der Gruppe II erlangten nach Belastung ein gegenüber dem

Sollwert um 116,42% gesteigertes TGV, bei einer Standardabweichung von 63,47%. Die Kinder kleiner 150 cm hatten als Reaktion auf die Belastung eine sehr viel größere Steigerung des TGV zu verzeichnen, bei einer gleich "schlechten" Ausgangslage vor Belastung. Der t-Test für abhängige Werte bestätigt das Ergebnis mit einem signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten der Abweichungen vom Sollwert beider Gruppen ($p < 0,0025$).

Nach Belastung stieg das thorakale Gasvolumen um 0,33 l, d.h., 18,22% an. Die Standardabweichung betrug 27,48%. Der t-Test für abhängige Werte zeigt einen signifikanten Unterschied ($t=2,244$, $0,05 > p > 0,0025$), der Korrelationskoeffizient beträgt 0,24. Auf dem 5%-Niveau ist dieser Korrelationskoeffizient bei einem Stichprobenumfang von 82 Kindern signifikant gegen Null. Es besteht somit eine Abhängigkeit der TGV-Erhöhung von der Belastung.

Beim Vergleich der Änderung des TGV bezüglich des Sollwertes nach Belastung fiel bereits eine unterschiedliche Reaktion zwischen großen und kleinen Kindern auf, die sich bei der Gegenüberstellung mit der Steigerung des TGV nach Belastung in Prozent des Wertes vor Belastung noch einmal bestätigt. Die Kinder der Gruppe II hatten mit einer Steigerung des TGV um 26,52% bei einer Standardabweichung von 28,45% eine deutlich größere Änderung des TGV, als die Kinder der Gruppe I mit einer Zunahme des TGV um 11,05%, die Streuung der Meßwerte beträgt 24,74%. Der Unterschied der TGV-Veränderungen zwischen beiden Gruppen ist signifikant ($p < 0,0025$). Kind Nr. 69 hatte eine Verminderung des TGV um 48,3% und lag unterhalb des 2SD-Bereichs. Die Kinder Nr. 28, 50, 55 und 72 wiesen eine Zunahme ihrer Werte um mehr als 73,17% ($= \bar{x} \pm 2 \text{ SD}$) auf.

Tabelle 2

Nr.	vor Belastung			nach Belastung		
	TGV soll (1)	TGV vor (1)	Δ TGV vor- soll (%)	TGV nach (1)	Δ TGV nach- soll (%)	Δ TGV vor- nach (%)
1	1,487	2,858	92,20	3,157	112,31	10,46
2	0,859	1,481	72,41	1,960	128,17	32,34
3	1,656	1,872	13,04	2,120	28,02	13,25
4	9,903	1,862	106,20	1,446	60,13	-22,34
5	1,790	2,680	49,72	2,422	35,31	- 9,63
6	1,531	3,733	143,83	3,510	129,26	- 5,97
7	0,876	2,135	143,72	2,555	192,67	19,67
8	1,531	2,599	69,76	3,715	142,65	42,94
9	1,577	2,734	73,37	3,834	143,12	40,23
10	1,531	2,724	77,92	2,367	54,60	-13,11
11	1,531	2,091	36,58	2,503	63,49	19,70
12	1,388	3,186	129,54	4,384	215,85	37,60
13	1,577	2,630	66,70	2,681	70,01	1,94
14	1,164	3,427	194,42	3,520	202,41	2,71
15	1,164	3,212	175,95	3,390	191,24	5,54
16	1,577	2,743	73,94	2,515	59,48	- 8,31
17	1,577	2,046	29,74	2,710	71,85	32,45
18	1,164	3,273	181,19	4,388	376,77	34,00
19	2,094	5,599	167,38	4,757	127,17	-15,04
20	1,056	1,870	77,08	2,530	139,58	35,29
21	1,164	1,341	15,21	1,680	44,33	25,28
22	0,818	1,588	95,33	2,294	180,44	44,46
23	1,056	2,114	100,19	3,517	233,05	66,37
24	0,818	1,862	127,63	1,980	142,05	6,34
25	1,210	1,902	57,19	1,875	54,96	- 1,42
26	1,501	2,427	61,69	2,556	70,29	5,32
27	0,818	1,423	73,96	1,678	105,13	17,92
28	1,005	1,726	71,74	3,083	206,77	78,62
29	1,056	1,738	64,58	2,386	125,95	37,28
30	1,348	2,223	64,91	2,525	87,31	13,58
31	1,056	2,424	129,55	1,924	82,20	-20,63
32	0,818	1,185	44,87	1,439	75,92	21,43
33	1,015	1,843	81,58	2,547	150,94	38,20
34	2,014	4,269	111,97	5,541	175,12	29,60
35	2,053	3,057	48,90	2,775	35,17	- 9,22
36	2,053	4,149	102,09	3,094	50,71	-25,43
37	0,911	1,437	57,74	1,587	74,20	10,44
38	0,728	1,040	42,86	1,149	57,83	10,48
39	1,335	1,354	1,42	1,505	12,73	11,15
40	0,749	1,203	60,61	1,408	87,98	17,04
41	0,826	1,308	58,35	2,090	153,03	59,79
42	1,936	3,725	92,41	3,185	64,51	-14,50
43	0,826	1,426	72,64	2,307	179,30	61,78
44	0,826	1,057	27,97	1,140	38,00	7,85
45	1,688	3,080	82,46	2,769	64,04	-10,10
46	0,826	1,425	72,52	1,305	57,99	-10,12
47	1,141	1,333	16,83	2,273	99,21	70,52
48	1,688	3,237	91,77	3,183	88,57	- 1,67
49	2,473	4,243	71,57	3,622	46,46	-14,64
50	0,826	1,222	47,94	2,216	168,24	81,34

Forts. Tabelle 2

Nr.	vor Belastung			nach Belastung		
	TGV _{soll} (1)	TGV _{vor} (1)	Δ TGV _{vor-soll} (%)	TGV _{nach} (1)	Δ TGV _{nach-soll} (%)	Δ TGV _{vor-nach} (%)
51	1,164	1,853	59,19	2,148	84,54	15,92
52	1,259	2,057	63,38	1,887	49,88	- 8,26
53	1,153	2,128	38,99	3,251	112,34	18,05
54	1,164	1,713	47,16	2,202	89,18	28,55
55	0,876	0,964	10,05	1,850	111,19	91,91
56	1,531	1,944	26,98	1,900	24,10	- 2,63
57	0,876	0,949	8,33	1,144	30,59	20,55
58	1,808	1,714	- 5,20	2,028	12,17	18,32
59	1,210	1,623	34,13	1,910	57,85	17,68
60	1,546	2,806	81,50	3,560	130,27	26,87
61	1,773	2,395	35,08	2,965	67,23	23,80
62	1,025	1,300	26,83	1,675	63,41	28,85
63	1,501	2,361	57,30	2,118	41,11	- 10,29
64	1,430	1,809	26,50	1,862	30,21	2,93
65	2,053	3,816	85,87	3,961	92,94	3,80
66	1,826	2,949	61,50	4,684	156,52	58,83
67	1,025	1,920	87,32	1,570	53,17	- 18,27
68	1,773	2,299	29,67	2,536	43,03	10,31
69	1,826	3,442	88,50	1,778	- 2,63	48,34
70	1,546	2,795	80,79	3,246	109,96	16,14
71	1,773	2,145	20,98	2,766	56,01	28,95
72	1,826	2,638	48,79	4,780	161,77	81,20
73	1,773	2,382	34,35	2,267	27,86	- 4,83
74	1,826	2,479	35,76	3,653	100,05	47,36
75	1,826	3,428	87,73	4,007	119,44	16,90
76	1,936	2,900	49,79	4,262	120,14	46,97
77	1,458	2,515	72,50	2,242	53,77	- 10,85
78	1,025	2,550	148,78	3,117	204,10	22,24
79	1,862	4,258	128,68	4,009	115,31	- 5,85
80	1,199	2,165	80,57	2,755	129,77	27,25
81	1,076	1,013	- 5,86	1,532	42,38	51,23
82	1,416	1,974	39,41	2,715	91,74	37,54

Tab. 2 Tabellarische Auflistung folgender TGV-Werte der Kinder im untersuchten Kollektiv

TGV_{soll}: aus der Regressionsgleichung für gesunde Kinder errechneter Sollwert in l.

TGV_{vor} und TGV_{nach}: gemessenes TGV vor und nach Belastung in l.

Δ TGV_{vor-soll} und Δ TGV_{nach-soll}: Differenz zwischen Soll- und Istwert vor und nach Belastung in Prozent des Sollwertes.

Δ TGV_{vor-nach}: Änderung des TGV nach Belastung in Prozent des Wertes vor Belastung.

3.1.2. R_{aw}

Den Normwert des Atemwegswiderstandes, nach der von LINN ermittelten Regressionsgleichung:

$$R_{aw \text{ soll}} = 50,54 \times e^{-0,013565252 \times \text{Größe}} \quad (14)$$

berechnet, die Absolutwerte des gemessenen Atemwegswiderstandes vor und nach Belastung sowie deren Abweichung vom Sollwert und untereinander in Prozent, zeigt Tabelle 3. Sämtliche Absolutwerte sind von der Einheit "cm H₂O" mit dem Faktor 0,09806 in die SI-Einheit "kPa" umgerechnet worden.

Der Mittelwert des Atemwegswiderstandes vor Belastung betrug 0,414 kPa, die einfache Standardabweichung betrug 41,74%. Den größten Atemwegswiderstand erreichte Kind Nr. 7 mit 1,1 kPa, den kleinsten R_{aw} hatte Kind Nr. 65 mit 0,12 kPa. Der Sollwert beträgt im Mittel 0,523 kPa, die Standardabweichung ist 21,8%, das Maximum beträgt 0,77 kPa, das Minimum 0,33 kPa. Die Differenz zwischen Ist- und Sollwert beträgt -21,56%, der Unterschied ist signifikant. Die gemessenen Werte sind also deutlich niedriger als die der Körpergröße bei lungengesunden Kindern entsprechenden Sollwerte.

Die Kinder größer 150 cm hatten im Durchschnitt einen gegenüber dem Sollwert um 24,95% verminderten Atemwegswiderstand, die Standardabweichung betrug 18,06%. Sie hatten damit im Vergleich zu den kleineren Kindern, mit einer mittleren Abweichung vom Sollwert von -17,7% und einer Standardabweichung von 27,31%, einen relativ niedrigeren R_{aw} vor Belastung. Der Unterschied zwischen den größeren und den kleineren Kindern ist signifikant.

Die Werte der Kinder : Nr. 4, 19, 45, 52, 65, 67, 72 und 78 lagen um mehr als 50% unter dem Sollwert und damit außerhalb der 2 SD-Grenze. Oberhalb des 2 SD-Bereichs war Kind Nr. 7 mit einer Erhöhung des R_{aw} gegenüber dem

Soll um 164,18%. Einen in Bezug zum Sollwert erhöhten Atemwegswiderstand fand sich auch bei folgenden 10 Kindern: Nr. 25, 28, 31, 40, 46, 47, 50, 53, 58 und 62.

Nach Belastung betrug der mittlere Atemwegswiderstand 0,555 kPa, die Standardabweichung betrug 47,36%. Der größte R_{aw} betrug 1,4 kPa (Kind Nr. 69), der kleinste Wert war 0,23 kPa (Kinder Nr. 14, 48 und 78).

Die Differenz der Meßergebnisse nach Belastung mit dem Sollwert beträgt 6,14%. Das Ergebnis ist nicht signifikant gegen Null ($t = 1,083, 0,3 > p > 0,05$). Erwartet hätten wir eine Steigerung des Atemwegswiderstandes durch die Belastung. Berücksichtigt man jedoch, daß die Meßergebnisse vor Belastung signifikant niedriger als die Normwerte waren, was mit möglicherweise zu hoch gelegenen Normwerten erklärt werden könnte, so zeigt sich doch eine Steigerung des Atemwegswiderstandes. In der Darstellung der Meßwerte einzelner Kinder wird dies noch deutlicher.

Während vor Belastung nur Kind Nr. 7 oberhalb des 2 SD-Bereichs lag, waren es nach Belastung 12 Kinder: Nr. 7, 12, 28, 43, 47, 50, 55, 61, 62, 66, 69 und 76. Besonders eindrucksvoll war der Anstieg des R_{aw} bei Kind Nr. 69. Vor Belastung fand sich bei diesem Kind ein Minus gegenüber dem Sollwert von 21,16% entsprechend 0,32 kPa. Nach der Belastung stieg der R_{aw} auf 1,4 kPa, d.h., um 329,9% an.

Nach Belastung hatten 43 Kinder gegenüber 70 Kindern vor Belastung niedrigere als dem Sollwert entsprechende Werte. Bei 2 Kindern: Nr. 14 und 78 fand sich nach Belastung eine Verminderung des Atemwegswiderstandes unter die 2 SD-Grenze gesunder Kinder hinaus. Vor Belastung war dies bei 8 Kindern der Fall. Die Kinder der Gruppe I steigerten ihren Atemwegswiderstand von einem um 24,95%

gegenüber dem Sollwert erniedrigten, auf einen um 8,16% erhöhten Mittelwert, die Kinder der Gruppe II von einem um 17,7% verminderten, auf einen um 3,79% erhöhten Wert. Der Unterschied ist signifikant. ($t = 3,865$, $p < 0,0025$).

Die Differenz zwischen dem Atemwegswiderstand vor und nach Belastung in Prozent betrug durchschnittlich +40,6%. Das Ergebnis ist hochsignifikant ($t = 6,287$, $p < 0,0025$). Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,58. Wie beim Vergleich der Meßwerte nach Belastung mit dem Sollwert bereits beschrieben, fand sich bei den Kindern größer 150 cm eine deutlich verstärkte Zunahme des Atemwegswiderstandes. Die Kinder der Gruppe I verschlechterten sich hinsichtlich des R_{aw} um durchschnittlich 48,17%, bei einer Standardabweichung von 68,93%. Die Kinder der Gruppe II erfuhren eine Steigerung des R_{aw} um 31,78%, die Standardabweichung betrug 42,68%. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,79, d.h. der Anstieg des Atemwegswiderstandes durch die Belastung ist von der Körpergröße dahingehend abhängig, daß er bei größeren Kindern wesentlich ausgeprägter ist als bei kleineren Kindern. Im Gegensatz dazu fanden wir beim TGV eine verstärkte belastungsabhängige Reaktion bei den kleineren Kindern. Eine Steigerung des Atemwegswiderstandes um mehr als die doppelte Standardabweichung fand sich bei den drei folgenden Kindern: Nr. 45, 49 und 72. Bei einem weiteren Kind fand sich eine starke Verschlechterung des R_{aw} , die aber innerhalb der 2 SD-Grenze blieb. Bei Kind Nr.72 fiel schon eine überdurchschnittliche Zunahme des TGV nach gegenüber vor Belastung auf. Die Kinder Nr. 7 und 12, die auffällige Abweichungen sowohl des TGV als auch des R_{aw} vom Sollwert aufwiesen, verschlechterten weder ihr TGV, noch ihr R_{aw} durch die Belastung überdurchschnittlich. Eine Verminderung des R_{aw} unterhalb

Tabelle 3

Nr.	vor Belastung			nach Belastung		
	R_{aw}	R_{aw}	ΔR_{aw}	R_{aw}	ΔR_{aw}	ΔR_{aw}
	soll (kPa)	vor (kPa)	vor - soll (%)	nach (kPa)	nach - soll (%)	vor - nach (%)
1	0,47	0,28	- 40,17	0,32	- 31,62	11,72
2	0,68	0,43	- 37,13	0,48	- 31,23	4,73
3	0,43	0,43	- 0,92	0,40	- 7,83	- 5,75
4	0,66	0,33	- 50,15	0,60	- 9,37	81,00
5	0,41	0,34	- 17,07	0,33	- 19,71	- 3,42
6	0,46	0,36	- 21,40	0,59	+ 28,82	64,29
7	0,68	1,10	+ 64,18	1,25	+ 85,19	13,54
8	0,46	0,37	- 19,21	0,40	- 12,66	7,59
9	0,45	0,27	- 39,87	0,36	- 19,82	34,80
10	0,46	0,34	- 25,76	0,37	- 19,21	9,46
11	0,46	0,43	- 6,11	0,42	- 8,30	- 0,69
12	0,45	0,35	- 29,19	0,80	+ 61,62	129,30
13	0,45	0,33	- 26,50	0,39	- 13,14	17,30
14	0,55	0,28	- 49,46	0,23	- 58,48	-20,14
15	0,55	0,31	- 44,96	0,30	- 45,85	- 3,22
16	0,45	0,35	- 22,05	0,43	- 4,23	23,88
17	0,45	0,37	- 17,59	0,29	- 35,41	-22,34
18	0,55	0,32	- 42,24	0,62	+ 11,91	92,40
19	0,37	0,17	- 53,93	0,22	- 40,38	29,41
20	0,59	0,35	- 40,98	0,48	- 19,06	38,14
21	0,55	0,52	- 6,14	0,52	- 6,14	- 1,12
22	0,71	0,64	- 9,60	0,98	+ 38,42	52,05
23	0,59	0,37	- 37,61	0,66	+ 11,30	77,63
24	0,71	0,69	- 2,54	0,72	+ 1,69	4,14
25	0,54	0,55	+ 1,85	0,62	+ 14,81	13,14
26	0,47	0,27	- 61,86	0,30	- 35,48	8,99
27	0,71	0,53	- 13,68	0,61	- 13,84	15,13
28	0,61	0,72	+ 17,26	0,83	+ 35,18	15,44
29	0,59	0,37	- 37,61	0,34	- 13,84	- 8,26
30	0,50	0,45	- 10,18	0,46	+ 35,18	2,61
31	0,59	0,64	+ 7,93	0,41	- 42,66	-34,73
32	0,71	0,86	- 21,47	0,49	- 8,18	-43,00
33	0,61	0,40	- 34,43	0,73	+ 19,67	80,63
34	0,38	0,35	- 7,89	0,43	+ 13,16	21,51
35	0,37	0,33	- 11,76	0,30	- 19,79	- 8,61
36	0,37	0,26	- 30,48	0,25	- 33,16	- 3,42
37	0,66	0,44	- 33,33	0,47	- 28,79	6,87
38	0,77	0,55	- 28,57	0,65	- 15,58	19,78
39	0,50	0,39	- 22,62	0,37	- 26,59	- 5,81
40	0,75	0,82	+ 8,90	0,60	- 20,32	-20,76
41	0,70	0,68	- 3,27	0,81	+ 15,22	18,62
42	0,39	0,20	- 48,72	0,40	+ 2,56	104,47
43	0,70	0,61	- 13,23	1,17	+ 66,43	91,64
44	0,70	0,60	- 14,65	0,70	- 0,43	16,23
45	0,40	0,15	- 65,12	0,39	- 9,30	165,56

Forts. Tabelle 3

Nr.	vor Belastung			nach Belastung		
	$R_{aw\text{ soll}}$	$R_{aw\text{ vor}}$	$\Delta R_{aw\text{ vor-soll}}$	$R_{aw\text{ nach}}$	$\Delta R_{aw\text{ nach-soll}}$	$\Delta R_{aw\text{ vor-nach}}$
	(kPa)	(kPa)	(%)	(kPa)	(%)	(%)
46	0,70	0,73	+ 29,89	0,70	- 0,43	- 3,38
47	0,56	0,48	+ 11,63	1,02	+ 81,49	110,77
48	0,43	0,26	- 39,53	0,23	- 46,51	- 9,54
49	0,33	0,24	- 27,27	0,44	+ 33,33	81,34
50	0,70	0,76	+ 8,11	1,35	+ 92,03	77,16
51	0,55	0,44	- 20,58	0,72	+ 29,96	65,32
52	0,53	0,22	- 58,10	0,30	- 42,86	37,50
53	0,46	0,54	+ 17,37	0,47	+ 2,62	- 13,70
54	0,55	0,34	- 38,63	0,39	- 29,60	17,20
55	0,68	0,59	- 12,59	1,22	+ 80,74	107,33
56	0,46	0,45	- 1,75	0,56	+ 22,27	24,45
57	0,68	0,53	- 21,48	0,55	- 18,52	3,33
58	0,41	0,41	+ 0,49	0,46	+ 12,75	- 11,37
59	0,54	0,48	- 11,11	0,50	- 7,41	5,76
60	0,46	0,33	- 27,47	0,60	+ 31,87	84,98
61	0,41	0,37	- 10,63	0,77	+ 85,99	110,43
62	0,61	0,62	+ 2,31	1,04	+ 71,62	67,98
63	0,47	0,38	- 18,28	0,67	+ 44,09	74,10
64	0,48	0,37	- 23,08	0,51	+ 6,03	39,57
65	0,37	0,12	- 67,91	0,28	- 25,13	121,26
66	0,41	0,29	- 28,57	0,64	+ 57,64	119,93
67	0,61	0,29	- 52,15	0,44	- 27,39	52,00
68	0,41	0,33	- 21,29	0,42	+ 1,45	26,71
69	0,41	0,32	- 21,18	1,40	+244,83	329,91
70	0,46	0,28	- 38,46	0,31	- 32,97	7,99
71	0,41	0,33	- 20,29	0,53	+ 28,02	63,17
72	0,41	0,17	- 58,13	0,50	+ 23,15	200,59
73	0,41	0,32	- 22,71	0,43	+ 3,86	33,23
74	0,41	0,35	- 13,79	0,28	- 31,03	- 18,97
75	0,41	0,27	- 33,50	0,27	- 33,50	1,42
76	0,39	0,36	- 7,69	0,81	+107,69	126,23
77	0,47	0,42	- 11,39	0,56	+ 18,14	33,88
78	0,61	0,27	- 55,45	0,23	- 62,05	- 12,92
79	0,40	0,30	- 25,00	0,41	+ 2,50	40,06
80	0,54	0,29	- 46,59	0,60	+ 10,50	106,80
81	0,59	0,41	- 29,91	0,70	+ 19,66	69,04
82	0,48	0,39	- 19,42	0,68	+ 40,50	75,00

Tab. 3 Tabellarische Auflistung folgender R_{aw} -Werte aller Kinder im untersuchten Kollektiv:

$R_{aw\text{ soll}}$: aus der Regressionsgleichung für gesunde Kinder errechneter Sollwert in kPa
 $R_{aw\text{ vor}}$ u. $R_{aw\text{ nach}}$: gemessener R_{aw} vor und nach Belastung in kPa
 $\Delta R_{aw\text{ vor-soll}}$ u. $\Delta R_{aw\text{ nach-soll}}$: Differenz zwischen Soll- und Istwert vor und nach Belastung in Prozent des Sollwertes
 $\Delta R_{aw\text{ vor-nach}}$: Änderung des R_{aw} nach Belastung in Prozent des Wertes vor Belastung

des 2 SD-Bereichs fand sich bei keinem Kind, bei 6 Kindern war der Wert unterhalb der einfachen, aber innerhalb der zweifachen Standardabweichung.

3.1.3. FVC

Die Ergebnisse der Messung der forcierten Vitalkapazität zeigt Tabelle 4. Dargestellt sind der Sollwert, der nach einer von LINN und GLASEMANN ermittelten Regressionsgleichung:

$$FVC_{\text{soll}} = 0,00304 \times \text{Größe} - 2,574 \quad (15)$$

berechnet wurde, die Absolutwerte der FVC vor und nach Belastung, deren Abweichung vom Sollwert in Prozent sowie die Differenz der Werte vor und nach Belastung in Prozent.

Der Mittelwert der FVC vor Belastung betrug 1,977 l. Es fand sich eine Streuung der Werte um 47,32%. Die größte FVC erlangte Kind Nr. 76 mit 4,1 l, die kleinste FVC hatte Kind Nr. 7 mit 0,45 l. Die Sollwerte betragen im Mittel 2,016 l, bei einer Standardabweichung von 23,87% und einer oberen und unteren Grenze von 3,004 l und 1,104 l. Die mittlere Abweichung vom Sollwert betrug -5,6%. Bei der Signifikanzprüfung (t-Test für abhängige Werte) zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den gemessenen Werten und den Sollwerten ($t = 0,336$, $0,973 > p > 0,05$).

Einzelne Kinder zeigten allerdings davon stark divergierende Ergebnisse. Kind Nr. 7 lag um mehr als 50% unter dem Sollwert und damit unterhalb des 2 SD-Bereichs. Das Kind war auch schon bei der Messung des TGV und des R_{aw} auffällig geworden. Auch der Meßwert des Kindes Nr. 24 fand sich unterhalb des 2 SD-Bereichs. Oberhalb der 2 SD-Grenze des Normwertes gesunder Kinder lagen die Meßergebnisse von 14 Kindern.

Die Kinder der Gruppe I hatten im Durchschnitt eine Zunahme der FVC von 8,18% im Vergleich zum Normwert, das Ergebnis ist nicht signifikant. Die kleineren Kinder zeigten allerdings eine ausgeprägte Verminderung der FVC gegenüber dem Sollwert von -22,33%. Der Unterschied zwischen beiden Mittelwerten ist hoch signifikant, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,98. Die kleineren Kinder haben demnach einen im Durchschnitt schlechteren Ausgangswert vor Belastung als die größeren Kinder. Da die FVC ein von der Mitarbeit abhängiger Parameter ist, könnte man das Ergebnis mit einer schlechteren Kooperation der kleineren Kinder erklären. Die Beobachtung ähnlicher Ergebnisse beim TGV, einem von der Mitarbeit unabhängigen Parameter, spricht allerdings dagegen.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, war die Abweichung der gemessenen Werte vom Sollwert nach der Belastung größer als vorher. Sie betrug im Durchschnitt -14,53%. Der Absolutwert war im Mittel 1,788 l, die Standardabweichung betrug 50,06%, die oberen und unteren Grenzen waren 3,95 l (Kind Nr. 69) und 0,23 l (Kind Nr. 7). Der Unterschied beider Mittelwerte ist signifikant ($t = 4,505$, $p < 0,0025$).

Während vor Belastung 14 Kinder eine gegenüber dem Sollwert um mehr als das doppelte der Standardabweichung erhöhte FVC aufwiesen, waren es nach der Belastung nur 10 Kinder. Umgekehrt fand sich nach Belastung bei 27 Kindern gegenüber 2 Kindern vor Belastung eine um mehr als die doppelte Standardabweichung verminderte FVC. Darunter fand sich bei 6 Kindern eine Verminderung der FVC um mehr als 50%: Nr. 7, 12, 19, 23, 24 und 41.

Die Kinder der Gruppe II hatten nach Belastung eine mittlere Abweichung vom Sollwert von -27,39%, die Kinder der Gruppe I von -3,42%. Berücksichtigt man ausserdem noch, daß die Werte der kleineren Kinder schon

vor Belastung wesentlich schlechter waren als die der größeren Kinder, so zeigt sich eine stärkere belastungsabhängige Verminderung der FVC bei den Kindern größer 150 cm. Deutlicher stellt sich dies in den Differenzwerten der Meßergebnisse vor und nach Belastung dar.

Die Differenz der Werte vor und nach Belastung betrug im Mittel -7,62%, bei den großen Kindern im Durchschnitt -8,76% und bei den kleinen Kindern -6,42%. Sowohl die Änderung der FVC gegenüber dem Ausgangswert vor Belastung, als auch der Unterschied im Gruppenverhalten zwischen den größeren und kleineren Kindern sind signifikant. Das heißt, die Belastung führte ursächlich zu einer Verminderung der FVC, wobei die Reaktion der großen Kinder, wie wir es auch schon bei der belastungsabhängigen Änderung des Atemwegswiderstandes gesehen haben, im Verhältnis stärker war.

Die Änderung der FVC lag bei einigen Kindern weit ober- oder unterhalb des Mittelwertes der Änderung. Bei 12 Kindern fand sich eine Verminderung der FVC über den Bereich der einfachen Standardabweichung hinausgehend, bei 4 dieser Kinder (Nr. 7, 12, 23 und 66) lag der Wert außerhalb der doppelten Standardabweichung. Die Kinder Nr. 5, 38 und 54 konnten ihr Ergebnis überdurchschnittlich verbessern.

Tabelle 4

Nr.	vor Belastung			nach Belastung		
	FVC _{soll} (1)	FVC _{vor} (1)	Δ FVC _{vor-soll} (%)	FVC _{nach} (1)	Δ FVC _{nach-soll} (%)	Δ FVC _{vor-nach} (%)
1	2,210	1,375	- 37,78	1,200	- 45,70	- 12,73
2	1,363	1,100	- 19,30	0,962	- 29,42	- 12,54
3	2,381	1,825	- 23,35	1,800	- 24,40	- 1,37
4	1,439	1,050	- 27,03	0,862	- 40,10	- 17,90
5	2,503	1,425	- 43,06	1,925	- 23,09	+ 35,09
6	2,260	2,425	+ 7,30	2,025	- 10,40	- 16,49
7	1,393	0,450	- 67,70	0,230	- 83,49	- 48,89
8	2,260	2,350	+ 3,98	2,000	- 11,50	- 14,89
9	2,305	2,075	- 9,98	1,550	- 32,75	- 25,30
10	2,260	2,375	+ 5,09	2,225	- 1,55	- 6,32
11	2,260	2,330	+ 3,10	2,275	+ 0,66	- 2,36
12	2,108	2,225	+ 5,55	0,925	- 56,12	- 58,43
13	2,305	2,125	- 7,81	1,538	- 33,26	- 27,62
14	1,834	1,675	- 8,67	1,700	- 7,31	+ 1,49
15	1,834	1,350	- 26,39	1,537	- 16,19	+ 13,85
16	2,305	1,600	- 30,59	1,290	- 44,09	- 19,37
17	2,305	2,125	- 7,81	2,025	- 12,15	- 4,71
18	1,834	1,575	- 14,12	1,200	- 34,57	- 23,80
19	2,746	2,538	- 7,57	1,200	- 56,30	+ 1,46
20	1,682	1,175	- 30,14	0,800	- 52,44	- 31,91
21	1,834	1,188	- 35,22	1,125	- 38,66	- 5,30
22	1,287	1,050	- 18,14	0,875	- 32,01	- 16,67
23	1,682	1,175	- 30,14	0,687	- 59,16	- 41,53
24	1,287	0,575	- 55,32	0,538	- 58,20	- 6,43
25	1,895	1,500	- 20,84	1,450	- 23,48	- 3,33
26	2,230	1,675	- 24,89	1,500	- 32,74	- 10,45
27	1,287	0,800	- 37,84	0,850	- 33,95	+ 6,25
28	1,606	1,250	- 22,17	1,075	- 33,06	- 14,00
29	1,682	1,250	- 25,68	1,350	- 19,74	+ 8,00
30	2,062	1,463	- 29,05	1,350	- 34,53	- 7,72
31	1,682	1,175	- 30,14	1,250	- 25,68	+ 6,38
32	1,287	0,975	- 24,20	1,100	- 14,53	+ 12,82
33	1,621	1,175	- 27,51	1,000	- 38,31	- 14,81
34	2,690	1,975	- 26,58	1,950	- 27,51	- 1,27
35	2,716	2,450	- 9,79	2,375	- 12,56	- 3,06
36	2,716	2,550	- 6,11	2,350	- 13,48	- 7,84
37	1,454	1,175	- 19,19	1,225	- 15,75	+ 4,26
38	1,104	0,750	- 32,06	1,000	- 9,42	+ 33,33
39	2,047	1,725	- 15,73	1,825	- 10,85	+ 5,80
40	1,150	1,100	- 4,35	0,850	- 26,09	- 13,63
41	1,302	0,737	- 43,39	0,625	- 52,00	- 15,20
42	2,624	2,300	- 12,25	1,900	- 28,59	- 17,39
43	1,302	0,975	- 25,12	0,700	- 46,24	- 28,21
44	1,302	0,925	- 28,96	1,150	- 11,67	+ 24,32
45	2,412	2,412	0,00	2,275	- 5,68	- 5,68
46	1,302	0,875	- 32,30	0,862	- 33,75	- 1,49
47	1,804	1,665	- 7,71	1,775	- 1,61	+ 6,61
48	2,412	1,850	- 23,30	1,637	- 32,19	- 11,51
49	3,004	3,850	+ 28,16	3,625	+ 20,67	- 5,84
50	1,302	0,900	- 30,88	0,675	- 48,16	- 25,00

Fort. Tabelle 4

Nr.	FVC _{soll} (1)	FVC _{vor} (1)	Δ FVC _{vor-soll} (%)	FVC _{nach} (1)	Δ FVC _{nach-soll} (%)	Δ FVC _{vor-nach} (%)
51	1,834	1,550	- 15,49	1,100	- 40,02	- 29,03
52	1,956	1,850	- 5,42	1,750	- 10,53	- 5,41
53	2,260	2,150	- 4,87	2,175	- 3,72	+ 1,16
54	1,834	1,700	- 7,31	1,775	- 3,22	+ 29,53
55	1,393	0,975	- 30,01	0,875	- 38,48	- 12,10
56	2,260	2,375	+ 5,09	1,925	- 14,82	- 18,95
57	1,393	1,150	- 17,44	1,025	- 26,42	- 10,87
58	2,518	2,225	- 11,64	2,225	- 11,64	0,00
59	1,895	1,600	- 15,57	1,375	- 27,44	- 14,06
60	2,275	2,075	- 8,79	1,675	- 26,37	- 19,28
61	2,488	2,025	- 18,61	1,750	- 29,66	- 13,58
62	1,636	1,287	- 21,33	1,200	- 26,65	- 6,76
63	2,229	2,700	+ 21,13	2,550	+ 14,40	- 5,56
64	2,153	3,475	+ 61,40	2,425	+ 12,63	- 2,02
65	2,716	3,975	+ 46,35	3,950	+ 45,43	- 0,63
66	2,533	3,600	+ 42,12	2,125	- 16,11	- 40,97
67	1,636	1,650	+ 0,86	1,750	+ 6,97	+ 6,06
68	2,488	3,275	+ 31,63	3,450	+ 38,67	+ 5,34
69	2,533	3,650	+ 44,10	2,325	- 8,21	- 36,30
70	2,275	3,200	+ 28,62	3,400	+ 49,45	+ 6,25
71	2,488	3,475	+ 39,67	3,300	+ 32,64	- 5,04
72	2,533	3,375	+ 33,24	2,575	+ 1,66	- 23,70
73	2,488	3,550	+ 42,68	3,575	+ 43,69	+ 0,70
74	2,533	3,525	+ 39,16	3,600	+ 42,12	+ 2,13
75	2,533	3,750	+ 48,05	3,575	+ 41,14	- 4,67
76	2,624	4,100	+ 56,25	3,925	+ 49,58	- 4,27
77	2,184	2,800	+ 28,21	2,575	+ 17,90	- 8,04
78	1,636	1,825	+ 11,55	1,825	+ 11,55	0,00
79	2,564	3,850	+ 50,16	3,975	+ 55,03	+ 3,25
80	1,880	2,000	+ 6,38	1,975	+ 5,05	- 1,25
81	1,712	1,550	- 9,45	1,600	- 6,54	+ 3,23
82	2,138	3,175	+ 48,50	3,075	+ 43,83	- 3,15

Tab. 4 Tabellarische Auflistung folgender FVC-Werte aller Kinder im untersuchten Kollektiv:

FVC_{soll}: aus der Regressionsgleichung für gesunde Kinder ermittelter Sollwert in 1

FVC_{vor} und FVC_{nach}: gemessene FVC vor und nach Belastung in 1.

Δ FVC_{vor-soll} und Δ FVC_{nach-soll}: Differenz zwischen Soll- und Istwert vor und nach Belastung in Prozent des Sollwertes

Δ FVC_{vor-nach}: Änderung der FVC, Angabe in Prozent der FVC vor Belastung.

3.1.4. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$

Tabelle 5 zeigt die Normwerte der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$, die gemessenen Werte vor und nach Belastung sowie die Differenz der Werte vor bzw. nach Belastung zum Sollwert in Prozent des Sollwertes. Die Differenz des $\dot{V}_{25-75}$ vor Belastung zum $\dot{V}_{25-75}$ nach Belastung wird in Prozent des Wertes vor Belastung angegeben.

Die Sollwerte wurden nach einer von GEUBELLE ermittelten Regressionsgleichung berechnet:

$$\dot{V}_{25-75 \text{ soll}} = 1,77 \times 10^{-6} \times \text{Größe}^{2,86} \quad (16)$$

Der Mittelwert der gemessenen Werte betrug 2,0821/s, die Standardabweichung war 40,47%. Den kleinsten Wert hatte Kind Nr. 7 mit 0,555 l/s, die größte Flußrate hatte Kind Nr. 75 mit 3,825 l/s. Der Mittelwert der Sollwerte beträgt 3,104 l/s, die Standardabweichung beträgt 29%, die kleinste Flußrate ist 1,602 l/s, die größte Flußrate beträgt 5,272 l/s. Die Abweichung vom Sollwert beträgt im Durchschnitt -33,33%. Der Unterschied beider Mittelwerte ist signifikant, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,64.

Bei 4 der 82 Kinder lag die Flußgeschwindigkeit über dem errechneten Normwert, wobei die Werte der Kinder Nr. 29, 52 und 70 innerhalb des Bereichs der einfachen Standardabweichung lagen, die Flußrate des Kindes Nr. 62 lag innerhalb des 2 SD-Bereichs, oberhalb dessen sich kein Kind befand. Bei 17 der 82 Kinder lag die Flußrate unter dem Bereich der einfachen Standardabweichung, bei den Kindern Nr. 7 und 34 war sie unterhalb des 2 SD-Bereichs.

Die Abweichung der Flußgeschwindigkeit in Prozent des Sollwertes betrug bei den Kindern der Gruppe I im Mittel -36,14%, bei den Kindern der Gruppe II durchschnittlich -27,82%. Die Standardabweichung war insbesondere bei den kleinen Kindern mit 24,36% sehr groß.

Bei den größeren Kindern betrug sie 17,62%.

Nach der Belastung betrug der Mittelwert der Flußgeschwindigkeit 1,82 l/s, die Standardabweichung betrug 50,06%. Das Minimum lag bei 0,33 l/s, das Maximum bei 4,925 l/s. Die Abweichung vom Sollwert betrug im Mittel -40,61%. Der Vergleich der Mittelwerte zeigt einen signifikanten Unterschied ($t = 9,073$, $p < 0,001$).

Der Vergleich der Meßergebnisse der größeren und der kleineren Kinder zeigt, daß die Kinder größer 150 cm mit einer geringfügig stärkeren Abnahme der Flußgeschwindigkeit auf die Belastung reagierten als die kleineren Kinder. Die Abweichung in Prozent des Sollwertes betrug bei den Kindern der Gruppe I -44,79% ($SD = 21,63\%$), bei den Kindern der Gruppe II betrug sie -35,77% ($SD = 29,13\%$). Die größeren Kinder hatten allerdings schon vor Belastung eine relativ niedrigere Flußrate. Die Verschlechterung durch die Belastung betrug bei den größeren Kindern -8,65%, bei den kleineren Kindern -7,96%, darin zeigt sich also kein Unterschied. Auch nach Belastung ist die Streuung der Meßwerte der kleinen Kinder sehr hoch und wesentlich größer als die der größeren Kinder.

4 Kinder lagen nach Belastung mit ihrem Meßergebnis über dem errechneten Normwert. Die Kinder Nr. 29 und 52 waren auch schon vor Belastung über dem Sollwert, sie konnten sich sogar gegenüber ihrem Ausgangswert verbessern. Kind Nr. 62 lag ebenfalls schon vor Belastung über dem Sollwert, es verschlechterte sich aber um 18,44%. Kind Nr. 65 verbesserte sich von -1,73% vor Belastung auf 8,76% danach. Nach Belastung lagen 15 Kinder mit ihren Meßwerten unterhalb der 2 SD-Grenze, vor Belastung war dies nur bei 2 Kindern der Fall.

Der Vergleich der Mittelwerte der Flußgeschwindigkeit vor (2,08 l/s) und nach Belastung (1,822 l/s) zeigt keinen signifikanten Unterschied, wenngleich die Differenz beider Werte in Prozent mit -11,3% im Durchschnitt signifikant ist, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,38%.

Die größte Zunahme der Flußgeschwindigkeit betrug 71,61% bei Kind Nr. 40, die größte Verminderung der Werte betrug 65,49% bei Kind Nr. 66. Kind Nr. 40 lag mit diesem Ergebnis oberhalb der 2 SD-Grenze. Unterhalb der 2 SD-Grenze lag kein Kind, bei 6 Kindern verminderte sich allerdings die Flußrate um mehr als 50%: Nr. 12, 18, 23, 66, 72 und 76. Bis auf Kind Nr. 18 sind die genannten Kinder schon durch Überdurchschnittliche Verschlechterungen anderer Parameter aufgefallen. Kind Nr. 7 verminderte zwar ebenfalls seine Flußgeschwindigkeit, blieb aber innerhalb der 2 SD-Grenze.

Die Kinder der Gruppe I wiesen eine mittlere Verminderung der Flußrate um 12,6% auf, die der Gruppe II um 9,93%. Der Unterschied ist statistisch signifikant. Die Streuung der Meßwerte ist, wie auch schon beim TGV und der FVC beschrieben, bei den kleineren Kindern mit 30,29% wesentlich größer als bei den großen Kindern (25,54%).

Tabelle 5

Nr.	vor Belastung			nach Belastung		
	$\dot{V}_{25-75}$ soll	$\dot{V}_{25-75}$ vor	$\Delta \dot{V}_{25-75}$ vor- soll	$\dot{V}_{25-75}$ nach	$\Delta \dot{V}_{25-75}$ nach- soll	$\Delta \dot{V}_{25-75}$ vor- nach
	(1/s)	(1/s)	(%)	(1/s)	(%)	(%)
1	3,406	1,387	- 59,27	1,550	- 54,49	+ 11,75
2	1,946	1,425	- 26,76	1,415	- 27,27	- 0,70
3	3,759	2,437	- 35,17	2,030	- 46,00	- 16,70
4	2,055	1,470	- 28,47	1,625	- 20,92	+ 10,54
5	4,027	2,438	- 39,47	2,280	- 43,38	- 6,46
6	3,499	2,050	- 41,42	1,695	- 51,56	- 17,32
7	1,989	0,555	- 72,10	0,330	- 83,41	- 40,54
8	3,499	2,750	- 21,41	1,550	- 55,70	- 43,67
9	3,594	1,688	- 53,05	1,780	- 50,48	+ 5,48
10	3,499	2,063	- 41,06	2,650	- 24,27	+ 28,48
11	3,499	2,675	- 23,55	2,670	- 23,70	- 0,19
12	3,194	1,975	- 38,16	0,880	- 72,19	- 55,06
13	3,594	2,130	- 40,74	2,180	- 39,35	+ 2,34
14	2,688	1,900	- 29,32	2,300	- 14,44	+ 21,05
15	2,688	1,750	- 34,90	1,675	- 37,69	- 4,29
16	3,594	1,790	- 50,20	1,250	- 65,27	- 11,65
17	3,594	2,575	- 28,36	2,275	- 36,71	- 30,17
18	2,688	2,413	- 10,26	0,875	- 67,45	- 63,73
19	4,603	3,350	- 27,22	3,750	- 12,28	+ 11,94
20	2,432	2,118	- 12,92	1,300	- 46,54	- 38,60
21	2,688	1,905	- 29,14	2,330	- 13,33	+ 22,30
22	1,840	1,238	- 32,75	0,920	- 50,00	- 25,65
23	2,432	2,005	- 17,54	0,845	- 65,25	- 57,86
24	1,840	1,350	- 26,63	0,875	- 52,45	- 35,20
25	2,796	0,975	- 65,13	1,280	- 54,22	+ 31,28
26	3,437	2,050	- 40,35	1,985	- 42,24	- 3,17
27	1,840	1,150	- 37,50	1,370	- 25,55	+ 19,13
28	2,310	1,035	- 55,19	0,690	- 70,12	- 33,34
29	2,432	2,625	+ 7,95	2,750	+ 13,09	+ 4,76
30	3,105	1,110	- 64,26	0,870	- 71,98	- 21,63
31	2,432	2,180	- 10,35	2,130	- 12,40	- 2,30
32	1,840	1,275	- 30,71	1,255	- 31,80	- 1,57
33	2,334	1,465	- 37,22	0,950	- 59,29	- 35,15
34	4,454	1,068	- 76,03	1,170	- 72,72	+ 9,60
35	4,528	2,820	- 37,73	2,613	- 42,30	- 7,36
36	4,528	2,908	- 35,79	2,900	- 35,96	- 0,26
37	2,077	1,695	- 18,40	2,040	- 1,80	+ 20,35
38	1,602	1,365	- 14,80	1,151	- 28,16	- 15,76
39	3,076	2,425	- 21,17	2,655	- 13,70	+ 9,48
40	1,660	0,758	- 54,36	1,300	- 21,67	+ 71,61
41	1,862	0,820	- 55,96	0,520	- 72,07	- 36,59
42	4,309	2,805	- 34,90	2,125	- 50,68	- 24,24
43	1,862	0,960	- 48,44	0,565	- 69,65	- 41,15
44	1,862	0,770	- 58,64	0,950	- 48,98	+ 23,37
45	3,823	2,440	- 36,18	2,330	- 39,06	- 4,51
46	1,862	0,750	- 59,72	0,785	- 57,84	+ 4,67
47	2,636	1,530	- 41,95	1,925	- 26,96	+ 25,82
48	3,823	1,440	- 62,34	1,395	- 63,51	- 3,13
49	5,272	3,575	- 31,19	3,700	- 29,82	+ 3,50

Forts. Tabelle 5

Nr.	vor Belastung			nach Belastung		
	$\dot{V}_{25-75}$ soll (l/s)	$\dot{V}_{25-75}$ vor (l/s)	$\Delta\dot{V}_{25-75}$ vor-soll (%)	$\dot{V}_{25-75}$ nach (l/s)	$\Delta\dot{V}_{25-75}$ nach-soll (%)	$\Delta\dot{V}_{25-75}$ vor-nach (%)
50	1,840	0,838	- 54,49	0,513	- 72,15	- 48,32
51	2,688	1,845	- 31,36	1,300	- 51,64	- 29,50
52	2,906	3,675	+ 26,47	4,088	+ 40,68	+ 11,22
53	3,499	1,825	- 47,85	2,575	- 26,41	+ 41,09
54	2,688	2,275	- 15,37	2,130	- 20,77	- 6,37
55	1,989	1,808	- 9,12	1,048	- 47,31	- 42,05
56	3,499	2,295	- 34,41	2,410	- 31,13	+ 5,01
57	1,989	1,300	- 34,63	1,545	- 22,32	+ 18,85
58	4,061	3,550	- 12,59	3,300	- 18,74	- 7,05
59	2,796	2,390	- 14,51	1,975	- 29,36	- 17,36
60	3,531	2,385	- 32,45	1,545	- 56,24	- 35,22
61	3,992	2,313	- 42,07	1,375	- 65,56	- 40,54
62	2,358	3,455	+ 46,53	3,020	+ 28,09	- 12,59
63	3,437	2,450	- 28,71	2,850	- 17,07	+ 16,33
64	3,283	2,375	- 27,67	2,425	- 26,14	+ 2,11
65	4,528	4,450	- 1,73	4,925	+ 8,76	+ 10,67
66	4,096	2,825	- 31,03	0,975	- 76,20	- 65,49
67	2,358	1,900	- 19,42	2,025	- 14,11	+ 6,58
68	3,992	2,475	- 38,00	2,500	- 37,38	+ 1,01
69	4,096	2,675	- 34,69	1,450	- 64,60	- 45,80
70	3,531	4,575	+ 29,58	3,025	- 14,32	- 33,88
71	3,992	2,350	- 41,14	1,325	- 66,81	- 43,62
72	4,096	2,550	- 37,74	1,025	- 74,97	- 59,80
73	3,992	2,400	- 39,88	2,050	- 48,65	- 14,58
74	4,096	2,825	- 31,03	3,375	- 17,60	+ 19,50
75	4,096	3,825	- 6,61	3,100	- 24,31	+ 18,95
76	4,307	1,875	- 56,48	0,800	- 81,43	- 57,34
77	3,344	1,200	- 64,11	0,900	- 73,09	- 25,00
78	2,358	2,100	- 10,93	2,350	- 0,33	+ 11,90
79	4,166	3,050	- 26,79	1,900	- 54,39	- 37,70
80	2,769	1,200	- 36,66	0,625	- 77,43	- 48,00
81	2,482	2,425	- 2,28	1,350	- 46,60	- 44,33
82	3,253	1,800	- 44,67	1,075	- 66,96	- 40,28

Tab. 5 Tabellarische Auflistung folgender $\dot{V}_{25-75}$ -Werte aller Kinder im untersuchten Kollektiv:

$\dot{V}_{25-75}$ _{soll}: Sollwert, aus der Regressionsgleichung für gesunde Kinder ermittelt, in l/s

$\dot{V}_{25-75}$ _{vor} und $\dot{V}_{25-75}$ _{nach}: gemessene Flußrate vor und nach Belastung in l/s

$\Delta\dot{V}_{25-75}$ _{vor-soll} und $\Delta\dot{V}_{25-75}$ _{nach-soll}: Differenz zwischen Soll- und Istwert vor und nach Belastung in Prozent des Sollwertes

$\Delta\dot{V}_{25-75}$ _{vor-nach}: Änderung der Flußrate, Angabe in Prozent des Wertes vor Belastung

3.1.5. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$

Tabelle 6 zeigt die Meßwerte der Flußgeschwindigkeit bei 50% der FVC vor und nach Belastung und die Differenz bei der Werte in Prozent des Wertes vor Belastung.

Die in der Tabelle zur Darstellung kommende Abhängigkeit der Absolutwerte von der Körpergröße ist in den Prozentwerten nicht mehr enthalten. Die mittlere Flußgeschwindigkeit vor Belastung betrug 2,224 l/s, die Standardabweichung betrug 40,73%. Die größte Flußrate erreichte Kind Nr. 70 mit 4,675 l/s, die kleinste Flußrate hatte Kind Nr. 7 mit 0,575 l/s. Nach Belastung lag die Flußgeschwindigkeit durchschnittlich bei 2,003 l/s, die Standardabweichung betrug 54,3%. Nach Belastung erreichte Kind Nr. 65 mit 5,55 l/s die größte Flußrate, es verbesserte sich gegenüber dem Ausgangswert um 26,86%. Die kleinste Flußrate hatte auch nach Belastung Kind Nr. 7 mit 0,3 l/s, es verschlechterte sich um -47,83%.

Im Durchschnitt verschlechterte sich die Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$ um 10,84%. Die starke Streuung der Werte wird durch die Spannweite zwischen den Extremen unterstrichen: die größte Zunahme der Flußrate betrug 77,63% bei Kind Nr. 44, die größte Abnahme der Flußrate betrug 73,5% bei Kind Nr. 66. Das Ausmaß der Streuung der Werte schränkt die statistische Verwertbarkeit der Prozentwerte ein.

Der Vergleich der Mittelwerte der Absolutwerte vor und nach Belastung weist keinen signifikanten Unterschied auf ($0,2 > p > 0,05$). Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,11, d.h., es besteht statistisch keine Abhängigkeit der Änderung der Flußgeschwindigkeit vor der Belastung.

Die Flußgeschwindigkeit der Kinder der Gruppe I verschlechterte sich um 11,88% im Durchschnitt, das Ergebnis ist signifikant gegen Null ($t = 2,719$, $p < 0,02$). Die Flußrate der Kinder der Gruppe II verschlechtert sich um 9,65%, das Ergebnis ist nicht signifikant auf dem 5%-Ni-

veau. Die Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$ ändert sich also belastungsabhängig nur bei den Kindern größer 150 cm, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$, der FVC und dem Atemwegwiderstand.

ZAPLETAL hat zwar an einem Kollektiv lungengesunder Kinder Normwerte für die Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$ erstellt, da diese Werte jedoch mit einer anderen Methode ermittelt wurden, konnten sie für unsere Untersuchung nicht als Vergleichswerte verwandt werden.

Dennoch fallen einige Kinder durch einen niedrigen Ausgangswert vor Belastung auf. Folgende 7 Kinder hatten eine Flußgeschwindigkeit von weniger als 1 l/s: Nr. 7, 25, 40, 41, 43, 44 und 46. 9 Kinder erreichten eine Flußrate von mehr als 3,5 l/s: Nr. 19, 49, 52, 58, 62, 65, 66, 70 und 75.

Nach Belastung hatten 16 Kinder eine Flußrate von weniger als 1 l/s, das sind 9 Kinder mehr als vor Belastung. Alle diese Kinder sind bereits durch die Verschlechterung von mindestens einem anderen Parameter nach Belastung aufgefallen. Nach Belastung hatten immer noch 8 Kinder eine Flußrate von mehr als 3,5 l/s: Nr. 19, 34, 52, 58, 70, 74 und 75.

3 Kinder beschleunigten nach Belastung ihre Flußgeschwindigkeit um mehr als 51,78% und lagen oberhalb der 2 SD-Grenze: Nr. 40, 44 und 53. 1 Kind lag mit einer Verminderung der Flußrate um 73,5% unterhalb der 2 SD-Grenze (Kind Nr. 66), bei 6 weiteren Kindern verminderte sich die Flußrate um mehr als 50%: Nr. 12, 18, 23, 72, 76 und 80.

Tabelle 6

Nr.	vor Bel. nach Bel.		$\Delta \dot{V}_{50}$ (%)	vor-nach
	$\dot{V}_{50}$ (1/s)	$\dot{V}_{50}$ (1/s)		
1	1,400	1,433	+	2,32
2	1,475	1,550	+	5,08
3	2,125	2,370	+	11,53
4	1,875	1,695	-	9,60
5	2,463	2,900	+	17,74
6	2,480	1,775	-	28,43
7	0,575	0,300	-	47,83
8	2,680	1,875	-	30,04
9	2,325	1,938	-	16,67
10	2,100	2,830	+	34,76
11	2,613	2,800	-	0,45
12	2,125	0,950	-	55,30
13	2,200	2,210	+	0,45
14	2,180	2,325	+	6,65
15	1,820	1,745	-	4,12
16	2,015	1,275	-	13,68
17	2,650	2,298	-	36,73
18	2,700	0,895	-	66,85
19	3,613	4,063	+	12,46
20	2,325	1,250	-	46,23
21	1,795	2,370	+	32,00
22	1,310	0,900	-	31,30
23	1,900	0,880	-	53,68
24	1,253	0,860	-	31,33
25	0,945	1,270	+	34,40
26	2,090	1,925	-	7,89
27	1,125	1,475	+	31,11
28	1,045	0,610	-	22,49
29	2,710	2,650	-	2,21
30	1,375	0,880	-	36,00
31	2,105	2,180	+	3,63
32	1,350	1,345	-	0,37
33	1,505	0,930	-	38,21
34	1,083	1,215	+	12,24
35	2,938	2,745	-	6,55
36	2,760	3,155	+	14,31
37	1,700	1,935	+	13,82
38	1,650	1,188	-	28,04
39	2,605	2,730	-	4,76
40	0,780	1,380	+	76,92
41	0,800	0,505	-	36,88
42	3,063	2,220	-	27,51
43	0,955	0,550	-	42,41
44	0,760	1,350	+	77,63
45	2,440	2,290	-	7,10
46	0,750	0,790	+	0,64
47	1,650	1,950	+	18,18
48	1,555	1,418	-	8,84

Forts. Tabelle 6

Nr.	vor Bel. nach Bel.		$\Delta \dot{V}_{50}$ vor-nach
	$\dot{V}_{50}$	$\dot{V}_{50}$	
	vor (l/s)	nach (l/s)	(%)
49	3,835	4,075	+ 6,26
50	1,095	0,600	- 45,20
51	2,055	1,450	- 29,44
52	3,875	4,120	+ 6,33
53	1,675	2,725	+ 62,68
54	2,450	2,385	- 2,65
55	1,900	1,045	- 45,01
56	2,350	2,795	+ 18,94
57	1,350	1,650	+ 22,22
58	4,163	3,750	- 9,91
59	2,513	2,055	- 18,20
60	2,505	1,615	- 35,53
61	2,488	1,475	- 40,71
62	3,755	2,800	- 25,43
63	2,700	3,250	+ 20,37
64	2,775	2,525	- 9,00
65	4,375	5,550	+ 26,86
66	3,625	0,960	- 73,50
67	2,050	2,250	+ 9,76
68	2,550	2,425	- 4,90
69	2,950	1,525	- 48,30
70	4,675	3,675	- 21,39
71	2,850	1,450	- 49,12
72	2,800	1,025	- 63,39
73	2,575	2,375	- 7,77
74	2,925	3,900	+ 33,33
75	4,200	3,900	- 7,14
76	2,150	0,950	- 55,80
77	1,350	1,075	- 20,37
78	2,150	2,500	+ 16,28
79	3,375	2,300	- 31,85
80	1,400	0,675	- 51,80
81	2,675	1,550	- 42,00
82	2,200	1,150	- 47,73

Tab. 6 Tabellarische Auflistung folgender $\dot{V}_{50}$ -Werte aller Kinder im untersuchten Kollektiv:

$\dot{V}_{50}$ vor und $\dot{V}_{50}$ nach : gemessene Flußrate vor und nach Belastung in l/s

$\Delta \dot{V}_{50}$ vor-nach : Änderung der Flußrate, Angabe in Prozent des Wertes vor Belastung

3.1.6. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{90}$

In Tabelle 7 sind die Absolutwerte der Flußgeschwindigkeit zum Zeitpunkt, an dem 90% der FVC ausgeatmet sind, vor und nach Belastung sowie die Differenzen beider Werte in Prozent dargestellt.

Die Flußgeschwindigkeit vor Belastung betrug im Durchschnitt 0,728 l/s, die Standardabweichung betrug 46,12%. Die größte Flußrate erreichte Kind Nr. 19 mit 1,563 l/s, die kleinste Flußrate hatte Kind Nr. 7 mit 0,175 l/s. Nach Belastung betrug die mittlere Flußgeschwindigkeit 0,713 l/s, die Standardabweichung war mit 58,46% größer als vorher. Die Kinder mit der größten und kleinsten Flußrate waren die Kinder Nr. 19 mit 1,865 l/s und Nr. 22 mit 0,2 l/s.

Der Vergleich der Mittelwerte der Flußgeschwindigkeiten vor und nach Belastung zeigt, analog dem Ergebnis bei den Flußgeschwindigkeiten $\dot{V}_{25-75}$ und $\dot{V}_{50}$, keinen signifikanten Unterschied ($t=0,259$, $0,7 > p > 0,05$). Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,06, das bedeutet Unabhängigkeit der Flußgeschwindigkeit im unteren Teil der Volumen-Zeit-Kurve von belastungsabhängigen Reaktionen im Sinne eines "Exercise-induced Asthma".

Die prozentuale Änderung der Flußrate betrug im Durchschnitt -2,32%, bei den Kindern der Gruppe I betrug sie im Mittel -1,14%, bei denen der Gruppe II im Durchschnitt -3,68%. Die Änderung der Flußrate war weder bei den großen noch bei den kleinen Kindern bedeutsam. Im Gegensatz zur Flußgeschwindigkeit im mittleren Teil der Volumen-Zeit-Kurve, wo wir eine stärkere belastungsabhängige Verminderung der Werte bei den großen Kindern fanden, zeigt sich hier eine relativ größere Abnahme der Flußrate bei den kleineren Kindern. Dies stimmt überein mit den beim TGV gefundenen Veränderungen.

Die Streuung der Meßwerte ist, wie schon beim $\dot{V}_{25-75}$, dem $\dot{V}_{50}$, dem TGV und der FVC beobachtet, bei

den kleinen Kindern besonders ausgeprägt (Gruppe I : 37,88%, Gruppe II : 43,68%).

Vor Belastung hatten 4 Kinder eine Flußgeschwindigkeit von weniger als 0,3 l/s: Nr. 7, 40, 77 und 80. Nach Belastung waren es 13 Kinder: Nr. 7, 12, 22, 26, 41, 43, 46, 50, 73, 76, 77, 80 und 82. Eine Flußrate größer als 1,5 l/s hatten vor Belastung 3 Kinder: Nr. 19, 65 und 70. Nach Belastung waren es 4 Kinder: Nr. 19, 43, 58 und 65. Eine Verminderung der Flußgeschwindigkeit um mehr als das Doppelte der Standardabweichung fand sich bei keinem Kind. Eine Steigerung der Flußrate um mehr als das Doppelte der Standardabweichung erreichten 4 Kinder: Nr. 1, 2, 13 und 40.

Tabelle 7

Nr.	vor Bel. nach Bel.		$\Delta \dot{V}_{90}$ (%)	vor- nach
	$\dot{V}_{90}$ (l/s)	$\dot{V}_{90}$ (l/s)		
1	0,525	1,025	+	95,24
2	0,305	0,700	+	129,50
3	0,750	0,725	-	3,33
4	0,750	0,513	-	31,67
5	0,930	1,075	+	15,59
6	0,513	0,475	-	7,32
7	0,175	0,225	+	28,57
8	0,878	0,500	-	43,02
9	0,725	0,725	-	0,00
10	0,945	0,988	+	4,49
11	0,985	1,300	+	31,98
12	0,588	0,290	-	50,64
13	0,635	1,390	+	118,90
14	0,840	0,600	-	6,25
15	0,445	0,525	+	17,98
16	0,678	0,705	+	5,15
17	0,750	0,838	+	16,66
18	0,525	0,400	-	23,80
19	1,563	1,865	+	19,36
20	0,725	0,495	-	31,72
21	0,780	1,140	+	46,15
22	0,730	0,200	-	72,60
23	0,815	0,505	-	38,00
24	0,468	0,455	-	2,70
25	0,600	0,605	+	0,83
26	1,050	1,075	+	2,38
27	0,585	0,720	+	23,08
28	0,480	0,273	-	43,23
29	1,310	1,428	+	8,97
30	0,475	0,415	-	12,63
31	0,975	0,913	-	6,41
32	0,555	0,565	+	1,08
33	0,600	0,405	-	32,51
34	0,475	0,513	+	7,89
35	1,433	1,395	-	2,62
36	1,430	1,175	-	17,83
37	0,765	0,970	+	26,30
38	0,670	0,360	-	46,27
39	0,760	0,945	+	24,34
40	0,213	0,425	+	99,99
41	0,335	0,263	-	21,62
42	1,118	1,170	+	4,69
43	0,320	0,375	+	17,20
44	0,475	0,275	-	42,11
45	0,720	0,763	+	5,90
46	0,315	0,300	-	4,76
47	0,455	0,733	+	60,99
48	0,620	0,760	+	22,58
49	1,150	1,805	+	56,96
50	0,423	0,208	-	50,89

Forts. Tabelle 7

vor Bel. nach Bel.

Nr.	$\dot{V}_{90}$	$\dot{V}_{90}$	$\Delta\dot{V}_{90}$	
	vor (l/s)	nach (l/s)	vor- nach (%)	
51	0,765	0,410	-	46,40
52	0,825	1,460	+	76,97
53	0,733	0,963	+	31,40
54	0,843	0,883	+	4,74
55	1,088	0,658	-	39,94
56	0,868	0,675	-	22,19
57	0,780	0,855	+	9,62
58	1,395	1,575	+	12,90
59	0,975	0,755	-	22,56
60	0,840	0,528	-	37,20
61	0,900	0,575	-	36,12
62	1,320	0,930	-	29,55
63	0,550	0,900	+	63,64
64	0,520	0,650	+	25,00
65	1,875	1,925	+	2,66
66	0,450	0,375	-	16,67
67	0,550	0,600	+	9,10
68	0,500	0,350	-	30,00
69	0,550	0,475	-	13,64
70	1,525	0,600	-	60,66
71	0,365	0,350	-	4,10
72	0,725	0,425	-	41,38
73	0,400	0,225	-	43,75
74	1,050	0,975	-	7,14
75	0,925	1,150	+	24,32
76	0,450	0,175	-	61,12
77	0,250	0,100	-	60,00
78	0,700	0,675	-	3,57
79	0,600	0,475	-	20,84
80	0,275	0,125	-	54,54
81	0,650	0,325	-	50,00
82	0,350	0,175	-	50,00

Tab. 7 Tabellarische Auflistung folgender $\dot{V}_{90}$ -
Werte aller Kinder im untersuchten
Kollektiv:

$\dot{V}_{90}$ vor und $\dot{V}_{90}$ nach : gemessene Flußrate vor
und nach Belastung
in l/s

$\Delta\dot{V}_{90}$ vor-nach : Änderung der Flußrate, An-
gabe in Prozent der $\dot{V}_{90}$ vor
Belastung

3.1.7. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{95}$

Tabelle 8 zeigt die Absolutwerte der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{95}$ vor und nach Belastung sowie deren Differenzen in Prozent des Wertes vor Belastung.

Die Flußgeschwindigkeit betrug vor Belastung im Durchschnitt 0,503 l/s, die Standardabweichung betrug 51,93%, die obere und untere Grenze waren 1,33 l/s (Kind Nr. 19) und 0,125 l/s (Kind Nr. 7). Nach Belastung betrug die mittlere Flußgeschwindigkeit 0,493 l/s, die Standardabweichung betrug 60,98%, das Maximum war 1,3 l/s bei den Kindern Nr. 19 und 65, das Minimum war 0,05 l/s bei Kind Nr. 77.

Auch beim Vergleich der Mittelwerte der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{95}$ zeigt sich keine Signifikanz gegen Null ($t=0,246$, $0,9 > p > 0,05$). Ebenso wenig ist der Differenzwert in Prozent signifikant. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,02, d.h., es besteht keine Beziehung zwischen der Änderung der Flußrate und der Belastung.

Die Kinder der Gruppe I haben im Durchschnitt sogar einen geringfügigen Anstieg der Flußrate von 5,86% nach Belastung zu verzeichnen. Bei den Kindern der Gruppe II sinkt die Flußrate im Durchschnitt um 3,46%. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist signifikant ($p < 0,001$), der Korrelationskoeffizient beträgt 0,66.

Schon bei der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{90}$ hatten wir eine größere Verminderung der Werte der kleineren Kinder gesehen. Das zeigt sich im noch weiter unten gelegenen Teil der Kurve der forcierten Expiration noch deutlicher.

Einige Kinder fielen vor Belastung durch eine Flußrate, kleiner als 0,2 l/s, auf: Nr. 7, 40, 71, 73 und 77. Nach Belastung hatten 14 Kinder eine Flußrate von weniger als 0,2 l/s. Kein Kind lag mit der Differenz der Werte vor und nach Belastung unterhalb der doppelten

Standardabweichung, 13 Kinder lagen unterhalb der einfachen Standardabweichung. Oberhalb der doppelten Standardabweichung lagen die Meßwerte von 7 Kindern.

Tabelle 8

Nr.	vor Bel. nach Bel.		$\Delta \dot{V}_{95}$
	$\dot{V}_{95}$ vor (1/s)	$\dot{V}_{95}$ nach (1/s)	
1	0,316	0,800	+ 153,60
2	0,225	0,565	+ 151,00
3	0,575	0,330	- 42,60
4	0,650	0,175	- 73,10
5	0,610	0,768	+ 25,80
6	0,325	0,395	+ 21,50
7	0,155	0,113	- 27,40
8	0,320	0,343	+ 7,03
9	0,550	0,555	+ 0,90
10	0,663	0,630	- 4,90
11	0,535	0,988	+ 84,60
12	0,380	0,190	- 50,00
13	0,490	0,683	+ 80,10
14	0,455	0,550	+ 20,88
15	0,323	0,365	+ 13,18
16	0,525	0,458	- 12,86
17	0,605	0,615	+ 1,65
18	0,250	0,295	+ 18,00
19	1,330	1,300	- 2,25
20	0,625	0,235	- 62,40
21	0,575	0,695	+ 20,86
22	0,463	0,140	- 69,71
23	0,623	0,450	- 27,70
24	0,250	0,300	+ 20,00
25	0,520	0,313	- 39,90
26	0,675	0,720	+ 6,66
27	0,550	0,465	- 15,50
28	0,300	0,135	- 35,00
29	0,963	1,060	+ 12,20
30	0,270	0,320	+ 13,52
31	0,800	0,795	- 0,63
32	0,507	0,420	- 17,24
33	0,350	0,313	- 10,71
34	0,415	0,455	+ 9,64
35	0,920	1,000	+ 8,70
36	1,035	0,695	- 32,85
37	0,300	0,625	+ 108,33
38	0,488	0,250	- 48,27
39	0,505	0,643	+ 27,22
40	0,145	0,260	+ 93,10
41	0,233	0,190	- 18,28
42	0,875	1,010	+ 15,43
43	0,208	0,313	+ 50,60
44	0,350	0,145	- 58,57
45	0,555	0,550	- 0,91
46	0,263	0,200	- 23,81
47	0,325	0,605	+ 86,15
48	0,433	0,510	+ 17,96
49	0,750	1,293	+ 72,33
50	0,275	0,118	- 57,27

Nr.	$\dot{V}_{95}$ vor (l/s)	$\dot{V}_{95}$ nach (l/s)	$\Delta \dot{V}_{95}$ vor-nach (%)
51	0,420	0,310	- 26,19
52	0,580	0,900	+ 55,17
53	0,580	0,895	+ 54,30
54	0,520	0,650	+ 25,00
55	0,850	0,398	- 54,57
56	0,525	0,375	- 28,57
57	0,650	0,700	+ 7,07
58	1,018	1,053	+ 3,44
59	0,610	0,407	- 33,20
60	0,545	0,470	- 13,76
61	0,775	0,390	- 49,66
62	0,995	0,480	- 51,76
63	0,340	0,675	+ 98,53
64	0,350	0,500	+ 42,86
65	1,150	1,300	+ 13,04
66	0,275	0,325	+ 18,20
67	0,325	0,425	+ 30,77
68	0,325	0,175	- 46,15
69	0,350	0,460	+ 31,43
70	1,275	0,375	- 70,59
71	0,160	0,150	- 16,67
72	0,500	0,375	- 25,00
73	0,175	0,100	- 42,86
74	0,625	0,750	+ 20,00
75	0,500	0,700	+ 40,00
76	0,250	0,125	- 50,00
77	0,125	0,050	- 60,00
78	0,450	0,525	+ 16,66
79	0,350	0,275	- 21,43
80	0,200	0,075	- 62,50
81	0,325	0,175	- 46,15
82	0,225	0,125	- 44,44

Tab. 8 Tabellarische Auflistung folgender $\dot{V}_{95}$ -
Werte der Kinder im untersuchten Kollektiv:

$\dot{V}_{95}$ vor und $\dot{V}_{95}$ nach : gemessene Flußrate vor
und nach Belastung
in l/s

$\Delta \dot{V}_{95}$ vor-nach : Änderung der Flußrate, Angabe in Prozent des Wertes vor Belastung

3.2. Meßergebnisse nach Gabe von Berotec

Bei 47 zufällig unter den 82 ausgewählten Kindern wurde nach der Belastung eine dritte Untersuchung nach Gabe eines bronchospasmolytischen Dosier-Aerosols, Berotec, durchgeführt. Es wurden dieselben Lungenfunktionsparameter wie bei der ersten und zweiten Untersuchung gemessen. Untersucht wurden die Abweichungen der gemessenen Werte nach Berotec von den Sollwerten sowie von den nach Belastung gefundenen Werten.

3.2.1. TGV

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Messung des thorakalen Gasvolumens nach Berotec dargestellt, die Abweichung dieser Werte vom Normwert und von den nach Belastung gemessenen Werten in Prozent.

Der Mittelwert des TGV betrug nach Berotec 2,367 l, die Standardabweichung betrug 41,83%. Das größte TGV hatte Kind Nr. 34 mit 5,103 l, das kleinste TGV hatte Kind Nr. 40 mit 1,004 l. Die mittlere Abweichung vom Sollwert betrug 65,9%, die Standardabweichung war 36,49%. Nach Belastung betrug die mittlere Abweichung vom Sollwert 97,99%. Demgegenüber ist das TGV nach Berotec um durchschnittlich 12,2% gesunken, der Ausgangswert vor Belastung (2,322 l) wurde fast wieder erreicht. Dieses Ergebnis ist signifikant, $t=4,638$, $p<0,001$.

Zwischen den Kindern der Gruppe I und II zeigte sich bezüglich der Abweichung vom Sollwert nach Berotec kein überzeugender Unterschied. Die größeren Kinder hatten eine mittlere Differenz zum Sollwert von 67,79%, die Standardabweichung betrug 39,72%, die kleineren Kinder hatten eine durchschnittliche Abweichung von 63,5%, die Standardabweichung war 32,51%.

Bei der Änderung des TGV nach Berotec gegenüber nach Belastung zeigt sich jedoch wieder ein Unterschied der Reaktion zwischen den Kindern beider Gruppen. Die Kinder der Gruppe I hatten eine Verbesserung ihrer Werte um 7,79% zu verzeichnen, die Kinder der Gruppe II um durchschnittlich 17,88%. Hatten die kleineren Kinder auf die Belastung mit einem stärkeren Anstieg des TGV reagiert, so verbesserten sie ihre Werte nach Berotec auch wesentlich stärker. Der Eindruck, daß das TGV bei den kleineren Kindern einen sensibleren Parameter als bei den größeren Kindern darstellt, bestätigt sich durch dieses Ergebnis.

Eine Verminderung des TGV um einen Betrag, der außerhalb der 2 SD-Grenze der Änderung des TGV nach Berotec gegenüber nach Belastung liegt, hatte kein Kind, die 6 folgenden Kinder verbesserten ihr TGV überdurchschnittlich, aber innerhalb der Grenze des 2 SD-Bereichs: Nr. 2, 33, 55, 61, 66 und 82.

Zwei Kinder verschlechterten sich überdurchschnittlich nach Berotec, Nr. 49 um 40,25% und Kind Nr. 63 um 29,75%.

Tab. 9 Tabellarische Auflistung folgender TGV-Werte von den 47 Kindern, die einer dritten Untersuchung nach Gabe von Berotec unterzogen wurden.

$TGV_{Ber.}$	:	TGV nach Gabe von Berotec in 1
$\Delta TGV_{Ber.-soll}$	:	Differenz zwischen dem TGV nach Gabe von Berotec und dem Sollwert in Prozent des Sollwertes
$\Delta TGV_{nach-Ber.}$	:	Änderung des TGV nach Gabe von Berotec in Prozent des TGV nach Belastung

Tabelle 9

nr.	I _{GV} _{Ber.}	Δ I _{GV} _{Ber.-} soll	Δ I _{GV} _{Ber.-} Bel.
(1)	(%)	(%)	(%)
1	3,140	111,70	- 0,29
2	1,233	40,75	- 38,32
3	1,938	17,05	- 8,58
4	1,511	67,33	+ 4,50
5	2,217	23,85	- 8,46
6	2,572	67,99	- 26,72
7	2,041	132,99	- 20,12
8	2,559	84,46	- 24,13
12	3,226	132,42	- 26,41
19	4,635	121,35	- 2,56
20	1,867	76,80	- 26,21
21	1,306	12,20	- 22,26
22	1,780	117,60	- 22,41
25	1,750	44,63	- 6,67
26	2,435	62,43	- 4,62
28	1,922	91,24	- 37,66
30	2,170	60,98	- 14,06
33	1,770	74,38	- 30,51
34	5,103	153,38	- 7,90
35	2,720	32,49	- 1,99
36	3,233	57,48	+ 4,49
37	1,768	94,07	+ 11,40
39	1,685	26,22	+ 11,96
40	1,004	34,05	- 28,11
41	1,607	94,55	- 23,11
45	3,055	80,98	+ 10,33
47	1,785	56,44	- 21,47
49	5,080	105,42	+ 40,25
51	1,875	61,08	- 12,71
52	1,780	41,38	- 5,67
53	2,512	64,08	- 22,73
55	1,053	20,21	- 43,08
58	2,070	14,49	+ 2,10
59	1,327	59,26	+ 0,89
60	2,548	64,81	- 28,43
61	1,967	10,94	- 33,66
62	1,191	16,20	- 28,90
63	2,748	83,08	+ 29,75
64	1,546	8,25	- 16,86
65	4,136	101,46	+ 4,42
66	3,156	72,84	- 32,62
76	3,401	75,67	- 20,20
77	2,258	54,90	+ 0,71
79	4,604	115,04	- 0,12
80	2,145	76,90	- 22,14
81	1,678	55,95	+ 9,53
82	1,762	26,55	- 34,00

3.2.2. R_{aw}

Die Meßergebnisse des Atemwegswiderstandes nach Berotec, ihre Differenzen zum Sollwert und zu den Werten nach Belastung sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Der durchschnittliche Atemwegswiderstand betrug nach Berotec 0,38 kPa, die Standardabweichung betrug 40,91%. Der größte R_{aw} fand sich bei Kind Nr. 7 mit 0,98 kPa, der kleinste R_{aw} bei Kind Nr. 79 mit 0,14 kPa. Die mittlere Abweichung vom Sollwert betrug -26,65%, die der Kinder der Gruppe I betrug durchschnittlich -29,71%, die der Kinder der Gruppe 2 -22,53%.

Lediglich die Kinder Nr. 7 und 58 lagen nach Berotec mit ihren Meßwerten oberhalb des 2 SD-Bereichs. Kind Nr. 7 hatte sich dabei um 21,41% gegenüber dem Wert nach Belastung verbessert, während sich Kind Nr. 58 verschlechtert hatte.

Im Vergleich zu den Werten nach Belastung verbesserte sich der Atemwegswiderstand nach Berotec um durchschnittlich 30,12%. Das Ergebnis ist hoch signifikant, $t=8,514$, $p<0,001$, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,78. Der Ausgangswert von 0,41 kPa vor Belastung wurde sogar noch unterschritten.

Die unterschiedliche Reaktion der großen und kleinen Kinder, die wir bei der Änderung des Atemwegswiderstandes nach Belastung feststellen konnten, läßt sich nach Belastung nicht so gut nachvollziehen. Die größeren Kinder hatten zwar eine größere Verminderung des Atemwegswiderstandes um 30,81% gegenüber den kleinen Kindern mit 27,72%, der Unterschied war jedoch nach Belastung eindrucksvoller.

9 Kinder zeigten nach Berotec eine überdurchschnittliche Verbesserung des Atemwegswiderstandes, blieben allerdings innerhalb der 2 SD-Grenze: Nr. 4, 7, 49, 55, 61, 62, 63, 76, 79 und 82. Zwei Kinder hatten eine Verschlechterung des Wertes von mehr als der doppelten Standardabweichung: Kind Nr. 21 verschlechterte sich

um 24%. Das Kind hatte nach Berotec auch eine Verminderung derjenigen Werte, die aus den forcierten Expirationsmanövern gewonnen werden, der FVC und der Flußgeschwindigkeit. Kind Nr. 58 steigerte seinen Atemwegswiderstand ebenfalls nach Gabe von Berotec.

Tab. 10 Tabellarische Auflistung folgender R_{aw} -Werte von den 47 Kindern, die einer dritten Untersuchung nach Gabe von Berotec unterzogen wurden.

$R_{aw_{Ber.}}$	: R_{aw} nach Gabe von Berotec in kPa
$\Delta R_{aw_{Ber.-soll}}$	: Differenz zwischen dem R_{aw} nach Berotec und dem Sollwert in Prozent des Sollwertes
$\Delta R_{aw_{nach-Ber.}}$	: Änderung des R_{aw} nach Berotec in Prozent des R_{aw} nach Belastung

Tabelle 10

nr.	$R_{awBer.}$ (kPa)	$R_{awBer.-}$ soll (%)	$\Delta R_{awBer.-}$ Lel. (%)
1	0,33	- 29,43	+ 4,05
2	0,46	- 32,75	- 3,45
3	0,40	- 7,83	+ 0,24
4	0,54	- 10,43	- 10,16
5	0,27	- 34,31	- 10,56
6	0,40	- 12,66	- 31,27
7	0,98	+ 45,19	- 21,41
9	0,31	- 30,96	- 14,43
12	0,40	- 19,20	- 50,12
19	0,19	- 40,51	- 11,30
20	0,42	- 29,17	- 12,68
21	0,64	+ 15,52	+ 24,00
22	0,52	- 26,55	- 47,25
25	0,48	- 11,11	- 23,08
26	0,20	- 56,99	- 34,00
28	0,45	- 26,71	- 40,15
30	0,43	- 14,17	- 6,79
33	0,43	- 29,51	- 40,75
34	0,38	0,00	- 10,93
35	0,25	- 53,16	- 10,03
36	0,22	- 41,18	- 13,31
37	0,22	- 66,67	- 53,75
39	0,24	- 52,36	- 34,35
40	0,64	- 15,01	+ 6,03
41	0,57	- 18,92	- 30,19
45	0,24	- 44,19	- 30,10
47	0,41	- 27,05	- 59,31
49	0,16	- 45,45	- 59,79
51	0,42	- 24,19	- 42,13
52	0,30	- 42,86	0,00
53	0,34	- 25,70	- 27,97
55	0,53	- 21,48	- 56,51
58	0,49	+ 20,10	+ 19,80
59	0,40	- 25,93	- 21,60
60	0,33	- 20,47	- 45,13
61	0,31	- 25,12	- 59,37
62	0,41	- 32,34	- 61,03
63	0,19	- 59,14	- 71,53
64	0,54	+ 12,27	+ 6,13
65	0,16	- 57,22	- 42,35
66	0,43	+ 5,91	- 31,95
76	0,21	- 47,15	- 74,64
77	0,37	- 21,94	- 34,73
79	0,14	- 65,00	- 66,71
80	0,44	- 18,97	- 20,15
81	0,33	- 43,59	- 52,32
82	0,29	- 40,08	- 57,86

3.2.3. FVC

Tabelle 11 zeigt den Absolutwert der forcierten Vitalkapazität nach Gabe von Berotec sowie deren Abweichung vom Sollwert und von den Werten nach Belastung in Prozent.

Der Mittelwert der FVC betrug nach Berotec 1,987 l, die Standardabweichung betrug 46,19%. Das Maximum lag bei 4,3 l (Kind Nr. 76), das Minimum bei 0,6 l (Kind Nr. 7). Die Kinder Nr. 65 und 79 hatten eine gegenüber dem Normwert erhöhte FVC, die oberhalb des 2 SD-Bereichs lag, eine Verminderung der FVC unter die 2 SD-Grenze hatte kein Kind.

Die Abweichung vom Normwert gesunder Kinder ist mit durchschnittlich -9,32% nicht signifikant ($t=0,552$, $0,6 > p > 0,05$). Die durchschnittliche Zunahme der forcierten Vitalkapazität nach Gabe von Berotec gegenüber dem nach Belastung gemessenen FVC-Wert betrug 14,1%. Es zeigt sich auch hier ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der Kinder der Gruppe I mit einer durchschnittlichen Zunahme der FVC um 10,07% und den Kindern der Gruppe II, deren Steigerung der FVC durchschnittlich 19,18% betrug ($t=3,65$, $p < 0,001$). Hatten wir die stärkere Verminderung der FVC auf die körperliche Anstrengung bei den größeren Kindern gesehen, so reagierten die kleineren Kinder mit einer ausgeprägteren Zunahme der Werte auf die Gabe von Berotec.

Einige Kinder wichen mit ihren Meßergebnissen vom Durchschnitt der Werte ab. Eine außergewöhnliche Verminderung der FVC zeigte sich bei keinem Kind. Eine Steigerung der FVC um mehr als die doppelte Standardabweichung fand sich bei 3 Kindern: Nr. 7, 55 und 66. 18 Kinder wiesen eine überdurchschnittliche Verbesserung ihrer Werte auf, die jedoch innerhalb der 2 SD-Grenze blieb.

Tab. 11 Tabellarische Auflistung folgender FVC-Werte von 47 Kindern, die einer dritten Untersuchung nach Gabe von Berotec unterzogen wurden.

$FVC_{Ber.}$: FVC nach Gabe von Berotec in l

$\Delta FVC_{Ber.-soll}$: Differenz zwischen der FVC nach Berotec und dem Sollwert in Prozent des Sollwertes

$\Delta FVC_{Ber.-nach}$: Änderung der FVC nach Berotec in Prozent des Wertes nach Belastung

Tabelle 11

Nr.	FVC _{Ber.}	FVC _{Ber.- soll}	Δ FVC _{Ber.- Bel.}
	(1)	(%)	(%)
1	1,075	- 51,36	- 10,42
2	1,000	- 26,63	+ 3,95
3	2,050	- 13,90	+ 13,89
4	0,775	- 46,14	- 10,09
5	1,860	- 25,69	- 3,38
6	2,575	+ 13,94	+ 27,16
7	0,600	- 56,93	+ 160,87
9	1,825	- 20,82	+ 17,74
12	1,850	- 12,24	+ 10,00
19	2,425	- 11,69	- 5,83
20	1,075	- 36,09	+ 34,38
21	1,000	- 45,47	- 11,11
22	1,100	- 14,53	+ 25,71
25	1,500	- 20,84	+ 3,45
26	1,650	- 26,01	+ 10,00
28	1,450	- 9,71	+ 34,88
30	1,550	- 24,83	+ 14,81
33	1,300	- 19,80	+ 30,00
34	2,000	- 25,65	+ 8,42
35	2,575	- 5,19	+ 8,42
36	2,650	- 2,43	+ 12,77
37	1,213	- 16,57	- 1,00
39	1,700	- 16,95	- 6,84
40	1,175	+ 2,17	+ 23,68
41	0,787	- 39,55	+ 25,92
45	2,500	- 3,65	+ 9,89
47	1,700	- 5,75	- 4,23
49	3,800	+ 26,50	+ 4,83
51	1,200	+ 2,24	+ 9,10
52	1,850	- 9,00	+ 5,71
53	2,200	+ 11,15	+ 1,15
55	1,200	- 24,41	+ 40,02
58	2,225	- 17,79	0,00
59	1,150	+ 1,69	- 16,36
60	2,175	- 6,19	+ 29,85
61	2,200	+ 20,23	+ 25,71
62	1,325	- 27,20	+ 10,42
63	2,800	+ 23,26	+ 9,80
64	2,475	- 28,10	+ 2,06
65	3,900	+ 52,28	- 1,27
66	3,400	+ 24,60	+ 60,00
76	4,300	+ 29,61	+ 9,55
77	2,925	- 13,95	+ 13,59
79	4,175	+ 56,16	+ 5,03
80	2,275	+ 14,10	+ 15,19
81	1,650	- 1,99	+ 3,13
82	3,225	- 16,18	+ 4,88

3.2.4. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$

Die Meßwerte der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$ mit ihren Differenzen zum Sollwert und den Werten nach Belastung in Prozent sind in Tabelle 12 dargestellt.

Mit 2,217 l/s lag der Durchschnitt der Werte nach Berotec erheblich unter dem der Normwerte (3,2 l/s), die Standardabweichung betrug 45,79%. Die Differenz der Werte betrug im Mittel 29,22%. Auch die Ausgangswerte der Flußrate lagen um 32,33% unter dem errechneten Sollwert. Die größte Flußgeschwindigkeit hatte Kind Nr. 65 mit 5,725 l/s, die kleinste fand sich bei Kind Nr. 7 mit 0,513 l/s. Der Vergleich der Mittelwerte der gemessenen und der Sollwerte ist signifikant ($t=7,164$, $p<0,001$). Die größeren Kinder zeigten eine größere Abweichung vom Sollwert (-33,14%) als die kleinen Kinder (23,83%).

Die Kinder Nr. 7, 34 und 60 hatten gegenüber dem Normwert überdurchschnittlich verminderte Flußraten, Kind Nr. 62 lag oberhalb der 2 SD-Grenze.

Im Vergleich zur Flußgeschwindigkeit nach Belastung (1,849 l/s) hatten die Kinder ihre Werte um durchschnittlich 34,8% verbessert, wobei die durchschnittliche Zunahme der Flußrate bei den größeren Kindern 37,84% betrug. Bei den kleineren Kindern betrug die Steigerung der Flußrate im Mittel 30,69%. Das Ergebnis ist hoch signifikant, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,6.

6 Kinder verschlechterten nach Berotec ihre Meßwerte, sie lagen aber noch innerhalb des 2 SD-Bereichs der durchschnittlichen Änderung der Flußrate. 7 Kinder hatten eine überdurchschnittliche Steigerung der Flußgeschwindigkeit zu verzeichnen, davon lagen die Werte der Kinder Nr. 66 und 76 oberhalb der 2 SD-Grenze.

Tab. 12 Tabellarische Auflistung folgender $\dot{V}_{25-75}$ -Werte von den 47 Kindern, die einer dritten Untersuchung nach Gabe von Berotec unterzogen wurden.

$\dot{V}_{25-75_{\text{Ber.}}}$: $\dot{V}_{25-75}$ nach Gabe von Berotec in $\frac{\text{l}}{\text{s}}$

$\Delta \dot{V}_{25-75_{\text{Ber.}}-\text{soll}}$: Differenz zwischen der Flußrate nach Berotec und dem Sollwert in Prozent des Sollwertes

$\Delta \dot{V}_{25-75_{\text{Ber.}}-\text{nach}}$: Änderung der Flußrate nach Berotec in Prozent des Wertes nach Belastung

Tabelle 12

Nr.	$\dot{V}_{25-75}$ Ber. (1/s)	$\dot{V}_{25-75}$ Ber.- soll (%)	$\Delta \dot{V}_{25-75}$ Ber.- Bel. (%)
1	2,025	- 40,53	+ 30,65
2	1,850	- 4,91	+ 30,74
3	2,275	- 39,48	+ 12,07
4	1,313	- 36,22	- 19,23
5	2,475	- 38,53	+ 8,55
6	2,387	- 31,78	+ 40,83
7	0,513	- 74,23	+ 55,30
9	2,375	- 33,92	+ 33,43
12	1,775	- 44,42	+ 99,99
19	3,650	- 20,71	- 2,66
20	2,425	- 0,27	+ 66,53
21	2,050	- 23,74	- 12,00
22	1,588	- 13,73	+ 72,55
25	1,130	- 59,58	- 11,70
26	2,713	- 21,07	+ 36,65
28	1,380	- 40,25	+ 99,99
30	1,218	- 60,79	+ 39,94
33	0,645	- 29,51	+ 71,58
34	1,120	- 74,86	- 4,27
35	2,907	- 35,81	+ 11,27
36	3,072	- 32,16	+ 6,03
37	2,075	- 0,11	+ 1,72
39	2,700	- 12,24	+ 1,69
40	1,015	- 38,64	- 21,93
41	0,805	- 56,76	+ 54,80
45	2,050	- 46,38	- 12,02
47	1,730	- 34,36	- 10,13
49	3,800	- 27,92	+ 2,70
51	1,945	- 27,65	+ 49,62
52	3,420	+ 17,69	- 16,33
53	1,700	- 51,42	- 33,98
55	1,500	- 24,58	+ 43,32
58	3,600	- 11,36	+ 9,09
59	1,550	- 44,56	- 21,50
60	2,400	- 32,02	+ 55,34
61	2,225	- 44,27	+ 61,82
62	4,525	+ 91,92	+ 49,83
63	2,975	- 13,43	+ 4,40
64	3,200	- 2,54	+ 31,96
65	5,725	+ 26,42	+ 16,24
66	2,725	- 33,47	+ 179,50
76	2,200	- 48,94	+ 175,00
77	1,900	- 43,18	+ 111,10
79	2,550	- 38,79	+ 34,20
80	0,900	- 67,49	+ 44,00
81	2,250	- 9,33	+ 66,67
82	1,850	- 43,13	+ 72,10

3.2.5. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$

Tabelle 13 zeigt die Meßergebnisse der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{50}$ nach Berotec und die Differenz dieser Ergebnisse zu den Meßergebnissen nach Belastung in Prozent.

Die Flußgeschwindigkeit nach Berotec betrug durchschnittlich 2,346 l/s, die Standardabweichung betrug 42,85%, nach Belastung betrug die Flußrate im Mittel 2,056 l/s. Die größte Flußrate erreichte Kind Nr. 65 mit 5,7 l/s, die kleinste Flußrate hatte Kind Nr. 7 mit 0,525 l/s.

Eine Flußgeschwindigkeit von weniger als 1 l/s hatten nur die Kinder Nr. 7 (0,525 l/s) und 41 (0,858 l/s), nach Belastung waren es 4 der Kinder, die auch nach Berotec untersucht wurden. Eine Flußgeschwindigkeit von mehr als 3,5 l/s fand sich nach Belastung bei 4 der Kinder, die nach Berotec untersucht wurden, nach Berotec waren es 6 Kinder: Nr. 19, 49, 52, 58, 62 und 65.

Die Differenz der Werte nach Belastung und nach Berotec betrug 35,63%. Das Ergebnis ist signifikant. Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den Werten der großen (36,13%) und der kleinen (34,95%) Kinder.

Eine überdurchschnittliche Steigerung der Flußgeschwindigkeit (größer als $\bar{x} + 2 \text{ SD}$) fand sich bei den Kindern Nr. 66 und 76. Bei weiteren 3 Kindern war Steigerung der Flußrate noch innerhalb der 2 SD-Grenze: Nr. 20, 77 und 82. Eine überdurchschnittliche Verminderung der Flußrate fand sich bei keinem Kind.

Tab. 13 Tabellarische Auflistung folgender $\dot{V}_{50}$ -Werte von den 47 Kindern, bei denen nach Gabe von Berotec eine dritte Untersuchung vorgenommen wurde.

$\dot{V}_{50 \text{ Ber.}}$: $\dot{V}_{50}$ nach Gabe von Berotec in l/s
 $\Delta \dot{V}_{50 \text{ Ber.-nach}}$: Änderung der Flußrate nach Berotec in Prozent der $\dot{V}_{50}$ nach Belastung

Tabelle 13

Nr.	$\dot{V}_{50 \text{ Ber.}}$ (l/s)	$\Delta \dot{V}_{50 \text{ Ber.}}$ (%)	- Bel.
1	1,950	+	36,13
2	1,925	+	24,20
3	2,245	-	5,27
4	1,500	-	11,50
5	2,500	-	13,79
6	2,530	+	42,53
7	0,525	+	74,90
9	2,200	+	17,67
12	1,730	+	82,11
19	3,813	-	6,15
20	2,550	+	104,00
21	2,090	-	11,80
22	1,625	+	80,55
25	1,115	-	12,20
26	2,640	+	37,14
28	1,430	+	76,54
30	1,200	+	36,36
33	1,630	+	75,27
34	1,150	-	5,35
35	2,875	+	4,74
36	3,160	+	0,16
37	2,125	+	9,82
39	3,075	+	12,63
40	1,190	-	13,77
41	0,858	+	69,80
45	2,200	-	3,93
47	1,763	-	9,62
49	3,945	-	3,19
51	2,250	+	55,20
52	3,600	-	12,62
53	1,738	-	36,24
55	1,605	+	53,68
58	3,563	-	5,01
59	1,655	-	19,46
60	2,525	+	56,35
61	2,213	+	49,99
62	4,375	+	56,25
63	3,100	-	4,60
64	3,325	+	31,68
65	5,700	+	2,70
66	3,000	+	212,50
76	2,650	+	179,00
77	2,300	+	114,00
79	3,200	+	39,00
80	1,025	+	51,85
81	2,450	+	58,00
82	2,350	+	104,35

3.2.6. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{90}$

In Tabelle 14 sind die Meßwerte der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{90}$ dargestellt mit den dazugehörigen Differenzen zu den Werten nach Belastung in Prozent.

Die mittlere Flußgeschwindigkeit betrug nach Berotec 0,85 l/s, die Standardabweichung betrug 53,34%. Die größte Flußrate erreichte Kind Nr. 65 mit 2,5 l/s, die kleinste Flußrate hatte Kind Nr. 7 mit 0,223 l/s. Die beiden Kinder waren schon bei den Extremwerten anderer Parameter aufgefallen.

Der Unterschied der Werte nach Belastung und nach Berotec betrug durchschnittlich -34,7%, das ist eine signifikante Steigerung der Flußgeschwindigkeit ($t=3,404$, $p < 0,005$). Nach Belastung war die Verminderung der Flußgeschwindigkeit nicht signifikant.

Auch nach Berotec findet sich kein entscheidender Unterschied in der Reaktion der Kinder der Gruppe I und II. Die Steigerung der Flußrate betrug bei den großen Kindern im Mittel 34,5%, bei den kleinen Kindern 34,96%. Die Streuung der Werte um den Mittelwert ist sehr groß, bei den kleinen Kindern größer (28,41%) als bei den großen Kindern (61,62%).

Eine Flußgeschwindigkeit von weniger als 0,3 l/s fand sich nach Berotec bei 3 Kindern: Nr. 4, 7 und 77. Nach Belastung hatte Kind Nr. 4 eine Flußrate von 0,513 l/s, die Kinder Nr. 7, 18, 22, 28, 41, 76, 77, 80 und 82 hatten eine geringere Flußrate als 0,3 l/s.

Eine Flußrate größer als 1 l/s hatten nach Berotec 11 Kinder, nach Belastung war es nur eines der Kinder, die nach Berotec untersucht wurden (Nr. 70).

Eine überdurchschnittliche Steigerung der Flußgeschwindigkeit nach Berotec wiesen 8 Kinder auf, davon lagen die Ergebnisse der Kinder Nr. 22 und 76 oberhalb der 2 SD-Grenze. Unterhalb der 2 SD-Grenze lag kein

Kind, bei den Kindern Nr. 4 und 49 fand sich eine starke Verminderung der Flußrate innerhalb der 2 SD-Grenze.

Tab. 14 Tabellarische Auflistung folgender $\dot{V}_{90}$ -Werte von den 47 Kindern, bei denen nach Gabe von Berotec eine dritte Untersuchung vorgenommen wurde.

$\dot{V}_{90_{\text{Ber.}}}$: $\dot{V}_{90}$ nach Gabe von Berotec in l/s

$\Delta \dot{V}_{90_{\text{Ber.-nach}}}$: Änderung des $\dot{V}_{90}$ nach Berotec in Prozent des $\dot{V}_{90}$ nach Belastung

Tabella 14

Nr.	$\dot{V}_{90\text{Ber.}}$	$\Delta \dot{V}_{90\text{Ber.}}$	Bel.
	(l/s)	(%)	
1	0,725	-	29,26
2	0,800	+	14,25
3	0,620	-	14,40
4	0,295	-	42,74
5	1,250	+	16,28
6	0,605	+	27,37
7	0,223		0,00
9	0,845	+	16,55
12	0,613	+	111,20
19	1,475	-	2,09
20	1,038	+	109,60
21	0,920	-	19,30
22	0,830	+	315,00
25	0,522	-	13,70
26	1,250	-	16,28
28	0,425	+	56,00
30	0,605	+	45,78
33	0,455	+	12,35
34	0,513		0,00
35	1,555	+	11,47
36	1,335	+	13,62
37	0,955	-	1,55
39	1,048	+	10,84
40	0,305	-	28,24
41	0,325	+	23,76
45	0,975	+	27,87
47	0,770	+	5,12
49	1,705	-	60,94
51	0,843	+	105,61
52	1,438	-	1,54
53	1,150	+	19,50
55	0,690	+	4,94
58	1,555	-	1,27
59	0,513	-	32,12
60	0,750	+	42,20
61	0,845	+	64,35
62	2,170	+	133,33
63	0,875	-	2,78
64	0,700	+	7,69
65	2,500	+	29,87
66	0,600	+	60,00
76	0,600	+	242,00
77	0,250	+	150,00
79	0,475		0,00
80	0,150	+	20,00
81	0,450	+	38,50
82	0,400	+	128,60

3.2.7. Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{95}$

Die Meßwerte der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{95}$ nach Berotec sowie ihre Differenzen zu den Werten nach Belastung in Prozent sind in Tabelle 15 dargestellt.

Der Mittelwert der Flußgeschwindigkeit betrug nach Berotec 0,578 l/s, die Standardabweichung betrug 59,17%. Der kleinste Wert fand sich bei Kind Nr. 4 mit 0,113 l/s, den größten Wert erreichte Kind Nr. 65 mit 1,625 l/s.

Nach Belastung betrug die Flußrate im Mittel 0,5 l/s. Die Abweichung der Werte nach Berotec von denen nach Belastung betrug 40,45%, das Ergebnis ist signifikant.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{90}$ zeigt sich bei der $\dot{V}_{95}$ ein deutlicher Unterschied zwischen den Kindern der Gruppe I und II bezüglich der Änderung der Flußgeschwindigkeit. Die mittlere Änderung betrug bei den großen Kindern 30,03%, bei den kleinen Kindern betrug die Zunahme der Flußrate durchschnittlich 54,25%. Der Unterschied ist signifikant, $t=7,499$, $p < 0,001$, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,75.

Eine Verminderung der Flußrate unter 0,2 l/s fand bei den Kindern Nr. 4, 7 und 77. Nach Belastung war dies bei 8 Kindern der Fall. Über 1 l/s lag die Flußrate nach Berotec bei 7 Kindern, nach Belastung nur bei 5 Kindern.

Ein überdurchschnittlicher Anstieg der Flußgeschwindigkeit zeigte sich nach Berotec bei 7 Kindern, wobei dieser bei den Kindern Nr. 20, 22 und 62 oberhalb der 2 SD-Grenze lag. Eine überdurchschnittliche Verminderung zeigte sich, wie bei der Änderung der Flußrate $\dot{V}_{90}$, bei den Kindern Nr. 4 und 49.

Tab. 15 Auflistung folgender $\dot{V}_{95}$ -Werte von den 47 Kindern, die nach Gabe von Berotec einer dritten Untersuchung unterzogen wurden.

$\dot{V}_{95_{\text{Ber.}}}$: $\dot{V}_{95}$ nach Gabe von Berotec in l/s

$\Delta \dot{V}_{95_{\text{Ber.-nach}}}$: Änderung des $\dot{V}_{95}$ nach Berotec
in Prozent des $\dot{V}_{95}$ nach Belastung

Tabella 15

Nr.	$\dot{V}_{95\text{Ber.}}$ (l/s)	$\Delta\dot{V}_{95\text{Ber.-}}$ (%) Bel.
1	0,438	- 45,30
2	0,430	- 23,90
3	0,398	+ 20,45
4	0,113	- 35,70
5	0,695	- 9,45
6	0,390	- 1,27
7	0,180	+ 60,00
9	0,630	+ 13,50
12	0,455	+ 139,50
19	1,033	- 20,57
20	0,780	+ 232,00
21	0,625	- 10,10
22	0,585	+ 317,80
25	0,363	+ 16,00
26	0,945	+ 31,25
28	0,270	+ 38,50
30	0,480	+ 50,00
33	0,393	+ 25,60
34	0,475	+ 4,40
35	1,200	+ 20,00
36	1,002	+ 44,17
37	0,720	+ 15,20
39	0,765	+ 9,06
40	0,248	- 11,61
41	0,288	+ 51,31
45	0,790	+ 43,64
47	0,508	- 16,12
49	0,633	- 51,10
51	0,515	+ 66,13
52	1,033	+ 14,72
53	0,525	- 41,30
55	0,550	+ 38,36
58	1,270	+ 20,66
59	0,363	- 11,04
60	0,338	- 29,19
61	0,773	+ 98,07
62	1,438	+ 199,48
63	0,444	- 34,80
64	0,525	+ 5,00
65	1,625	+ 25,00
66	0,425	+ 30,77
76	0,350	+ 180,00
77	0,125	+ 150,00
79	0,325	+ 18,20
80	0,125	+ 66,66
81	0,275	+ 57,14
82	0,300	+ 140,00

3.3. Vergleich der Parameter

Um die Veränderung der einzelnen Parameter, besonders der Flußgeschwindigkeiten im Verlauf der forcierten Expiration zu verfolgen, sind in Tabelle 16 noch einmal die Mittelwerte der Differenzen der Meßwerte vor und nach Belastung in Prozent mit Standardabweichung und Korrelationskoeffizient dargestellt. Analog zeigt Tabelle 17 die Mittelwerte der Meßwertänderung nach Gabe von Berotec mit der zugehörigen Standardabweichung und dem Korrelationskoeffizienten. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Mittelwerte der Änderung der Meßparameter nach Belastung (Abb. 5) bzw. nach Gabe von Berotec (Abb. 6) mit den oberen und unteren Grenzen der doppelten Standardabweichung und den Einzelergebnissen in Prozent.

Beim thorakalen Gasvolumen findet sich als belastungsabhängige Reaktion eine Zunahme der Meßwerte um durchschnittlich 18,33%. Die Korrelation ist gut ($r=0,56$), bei den kleineren Kindern ist der TGV-Anstieg deutlicher als bei den größeren Kindern. Nach Gabe von Berotec vermindert sich das TGV um durchschnittlich 12,21%, bei den Kindern der Gruppe II um 18,18%. Die nach Belastung gefundene bessere Korrelation der Meßwertänderung mit der körperlichen Anstrengung wird hier bestätigt.

Die größte Änderung der Meßwerte durch die Belastung, mit einer Verschlechterung der Werte um durchschnittlich 40,60%, bei den größeren Kindern sogar um 48,17%, zeigt sich bei Messung des Atemwegswiderstandes. Auch nach Gabe von Berotec finden wir eine ausgeprägte Veränderung des R_{aw} . Er vermindert sich um durchschnittlich 29,95%, der Korrelationskoeffizient beträgt 0,78. Allerdings zeigt sich hier kein signifikant unterschiedliches Gruppenverhalten zwischen den großen und den kleinen Kindern.

Die Reaktion der forcierten Vitalkapazität auf die körperliche Belastung beruht in einer geringen Verminderung der Meßwerte (durchschnittlich 7,62%), bei den größeren Kindern deutlicher als bei den kleineren Kindern. Nach Gabe von Berotec beträgt die Zunahme der Werte durchschnittlich 13,82%, wobei die kleineren Kinder mit 17,17% den größeren Zuwachs der FVC zu verzeichnen haben.

Die Veränderung der Flußgeschwindigkeiten $\dot{V}_{25-75}$ und $\dot{V}_{50}$ sind ähnlich zu beurteilen, wie die der FVC. Auch hier zeigt sich eine geringe, wenn auch deutlichere Verminderung der Meßergebnisse und eine bessere Korrelation bei den größeren Kindern. Bei den Kindern der Gruppe II ist eine Korrelation der Änderung der Flußrate $\dot{V}_{50}$ mit der Belastung kaum mehr nachweisbar ($r=0,28$). Im unteren Teil der Kurve der forcierten Expiration treffen diese Beobachtungen nicht mehr zu. Je weiter man in diesen flacheren Teil der Kurve kommt, desto schlechter wird die Korrelation der Änderung der Werte mit der Belastung, besonders bei den großen Kindern. Es zeigt sich keine signifikante Änderung der Flußgeschwindigkeit, die Korrelationskoeffizienten betragen $-0,06$ ($\dot{V}_{90}$) bzw. $+0,03$ ($\dot{V}_{95}$). Das Verhalten der beiden Gruppen kehrt sich um, d.h., wenn wir in der ersten Hälfte der forcierten Expiration, in Übereinstimmung mit den beim R_{aw} und der FVC gefundenen Ergebnissen, eine bessere Reaktion bei den größeren Kindern gesehen hatten, so weisen hier noch am ehesten die kleinen Kinder eine Verminderung der Werte auf. Bei $\dot{V}_{95}$ haben die Kinder der Gruppe I sogar einen geringfügigen Anstieg der Flußgeschwindigkeit zu verzeichnen.

Die Änderung der Flußrate ist nach Gabe von Berotec wesentlich ausgeprägter als nach Belastung, es zeigt sich jedoch kein Unterschied der Ergebnisse im Verlauf der forcierten Expiration. Hingegen war die

belastungsabhängige Verminderung der Flußrate nur in der Mitte der Expiration nachweisbar. In Bezug auf das Gruppenverhalten zeigen sich nur bei den Flußraten $\dot{V}_{25-75}$ und $\dot{V}_{95}$ Unterschiede. Beim $\dot{V}_{25-75}$ reagieren im Durchschnitt die größeren Kinder besser, beim $\dot{V}_{95}$ die kleineren Kinder. Dies stimmt mit den nach Belastung gefundenen Ergebnissen überein.

Abbildung 7 zeigt die Flußgeschwindigkeit im Verlauf der forcierten Expiration als Mittelwerte der Differenzen vor und nach Belastung in Prozent mit den oberen und unteren Grenzen der doppelten Standardabweichung und einigen Einzelbeispielen, die die große Variabilität der Reaktion noch einmal unterstreichen sollen.

Tabelle 16

	$\bar{x}$ (%)	s_x	r	Gr. I Gr. II	$\bar{x}$ (%)	s_x	r
ΔTGV	- 18,22	27,48	-0,56	Gr. I - 11,05 Gr. II - 26,52	24,74 28,45	-0,41 -0,69	
ΔR_{aw}	- 40,60	58,48	-0,58	Gr. I - 40,17 Gr. II - 31,78	60,93 42,68	-0,58 -0,60	
ΔFVC	- 7,62	16,19	-0,43	Gr. I - 8,76 Gr. II - 6,42	14,70 17,85	-0,52 -0,34	
$\Delta \dot{V}_{25-75}$	- 11,37	27,70	-0,38	Gr. I - 12,60 Gr. II - 9,93	25,50 30,29	-0,45 -0,32	
$\Delta \dot{V}_{50}$	- 10,84	31,31	-0,33	Gr. I - 11,88 Gr. II - 9,65	28,98 34,17	-0,38 -0,28	
$\Delta \dot{V}_{90}$	- 2,32	40,71	-0,06	Gr. I - 1,14 Gr. II - 3,68	37,88 43,68	-0,03 -0,09	
$\Delta \dot{V}_{95}$	- 1,54	48,85	-0,03	Gr. I - 5,86 Gr. II - 3,46	45,59 51,82	-0,13 -0,07	

Tab. 16

Darstellung der prozentualen Veränderung der Mittelwerte aller gemessenen Lungenfunktionsparameter nach Belastung gegenüber vor Belastung sowie der einfachen Standardabweichung und der Korrelationskoeffizienten. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte sowohl für das gesamte Kollektiv ($n_{\text{gesamt}}=82$), als auch getrennt für die Gruppe I (Kinder größer 150 cm, $n_I=44$) und die Gruppe II (Kinder kleiner 150 cm, $n_{II}=38$).

$\bar{x}$: Mittelwert der Differenzen der gemessenen Werte (ΔTGV , ΔR_{aw} , ΔFVC , $\Delta \dot{V}_{25-75}$, $\Delta \dot{V}_{50}$, $\Delta \dot{V}_{90}$, $\Delta \dot{V}_{95}$) vor und nach Belastung, angegeben in Prozent des Wertes vor Belastung.

s_x : einfache Standardabweichung

r : Korrelationskoeffizient

Gr. I/Gr. II : Einteilung in die Gruppen I und II gemäß den Erläuterungen auf Seite 13.

Tabelle 17

	$\bar{x}$ (%)	s_x	r	Gr.I Gr.II	$\bar{x}$ (%)	s_x	r
ΔTGV	- 12,21	17,85	-0,56	Gr.I - 7,79 Gr.II - 18,18	18,39 15,75	-0,39 -0,72	
ΔR_{aw}	- 29,95	24,36	-0,78	Gr.I - 30,52 Gr.II - 29,52	25,14 23,88	-0,79 -0,77	
ΔFVC	- 13,82	26,58	-0,47	Gr.I - 11,34 Gr.II - 17,17	14,52 37,44	-0,59 -0,47	
$\dot{V}_{25-75}$	- 34,80	46,49	-0,60	Gr.I - 37,84 Gr.II - 30,69	51,72 40,53	-0,60 -0,61	
$\dot{V}_{50}$	- 35,63	51,23	-0,58	Gr.I - 36,13 Gr.II - 34,95	58,43 41,00	-0,53 -0,66	
$\dot{V}_{90}$	- 34,70	69,88	-0,45	Gr.I - 34,50 Gr.II - 34,66	61,62 81,41	-0,50 -0,40	
$\dot{V}_{95}$	- 40,45	76,06	-0,48	Gr.I - 30,03 Gr.II - 54,52	61,70 91,84	-0,44 -0,52	

Tab. 17

Darstellung der prozentualen Veränderung der Mittelwerte aller gemessenen Parameter nach Gabe von Berotec gegenüber nach Belastung sowie der einfachen Standardabweichung und der Korrelationskoeffizienten. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte sowohl für das gesamte Kollektiv ($n_{\text{gesamt}}=47$), als auch getrennt für die Gruppe I (Kinder größer 150 cm, $n_I=27$) und die Gruppe II (Kinder kleiner 150 cm, $n_{II}=20$).

$\bar{x}$: Mittelwert der Differenzen der gemessenen Werte (ΔTGV , ΔR_{aw} , ΔFVC , $\dot{V}_{25-75}$, $\dot{V}_{50}$, $\dot{V}_{90}$, $\dot{V}_{95}$) nach Gabe von Berotec und nach Belastung.

s_x : einfache Standardabweichung

r : Korrelationskoeffizient

Gr.I/Gr.II: Einteilung in die Gruppen I und II gemäß den Erklärungen auf Seite 13.

Abb. 5

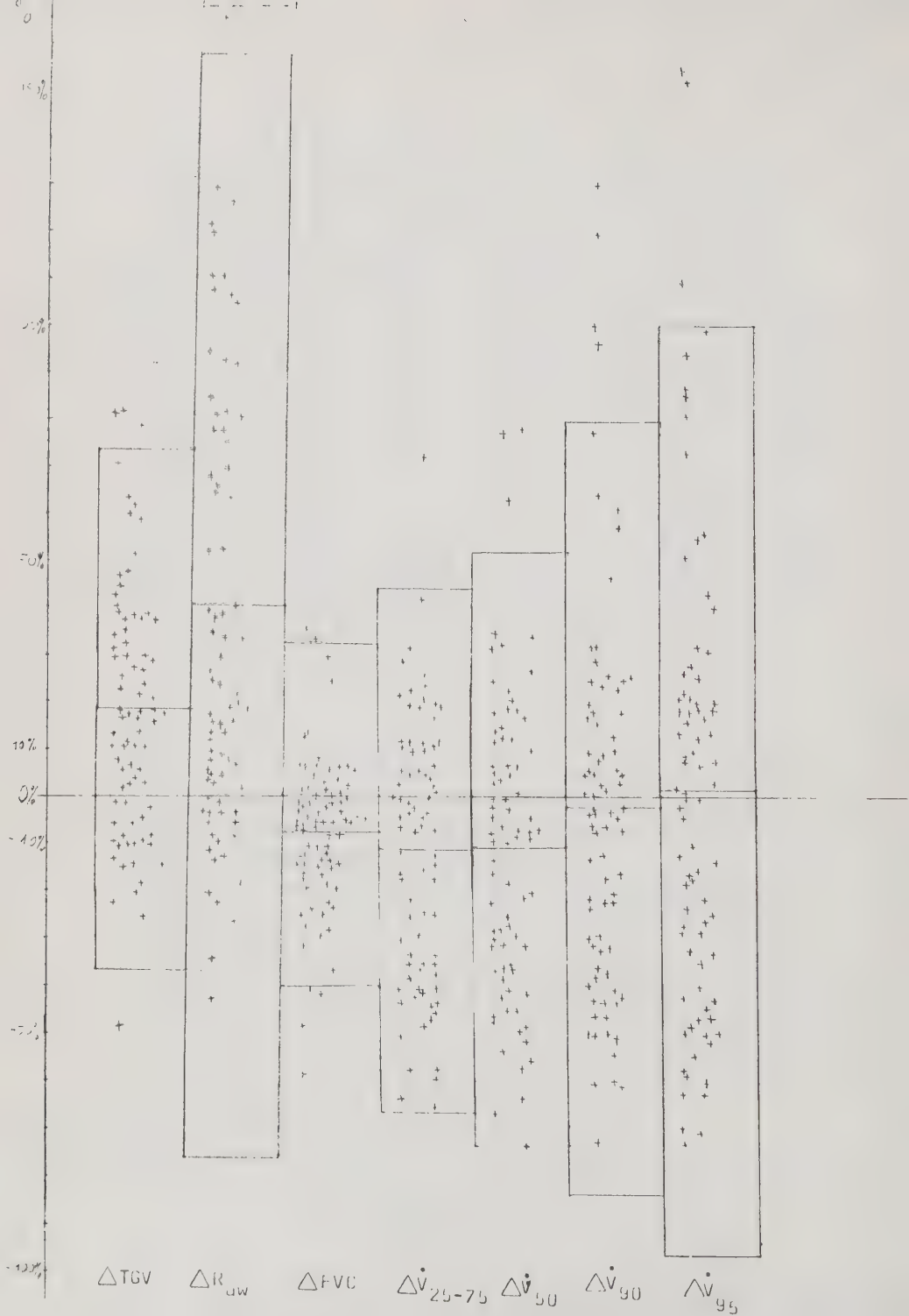
Mittelwerte der Änderung der Meßparameter vor gegenüber nach Belastung in Prozent der Werte vor Belastung und deren obere und untere 2 SD-Grenzen ($\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$) sowie die Änderung der Einzelwerte in Prozent. •

Abb. 6

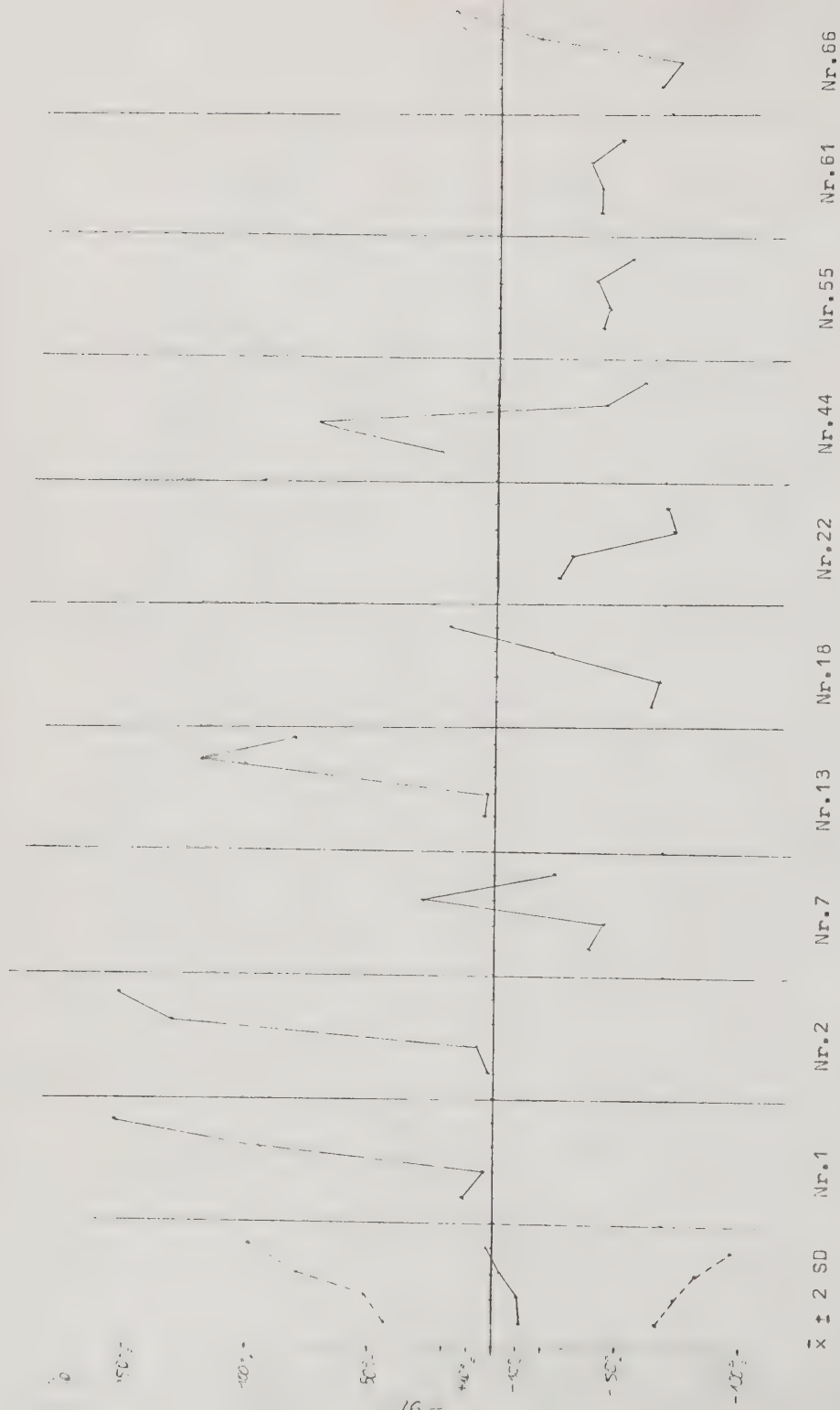
Mittelwerte der Änderung der Meßparameter nach Belastung gegenüber nach Gabe von Berotec in Prozent der Werte nach Belastung, deren obere und untere 2 SD-Grenzen ($\bar{x} \pm 2 \text{ SD}$) sowie die Änderung der Einzelwerte in Prozent.

Abb. 7

Darstellung der Mittelwerte der Änderung der Flußgeschwindigkeiten $\Delta \dot{V}_{25-75}$, $\Delta \dot{V}_{50}$, $\Delta \dot{V}_{90}$ und $\Delta \dot{V}_{95}$ mit den oberen und unteren 2 SD-Grenzen sowie der Werte der Kinder Nr. 1, 2, 7, 13, 18, 22, 44, 55, 61 und 60.







$\bar{x} \pm 2 SD$

Um eine Beziehung zwischen den einzelnen Parametern, besonders zwischen den mit arbeitsabhängigen und -unabhängigen zu finden und Aufschlüsse über die vom Anstrengungsasthma betroffenen Abschnitte der Atemwege zu erhalten, haben wir Korrelationen der Änderungen der Flußgeschwindigkeiten zu denen des TGV und des R_{aw} in den Tabellen 18/19 und 20/21 hergestellt.

Nach Belastung ist die Korrelation des TGV mit der Änderung der Flußraten $\dot{V}_{25-75}$ und $\dot{V}_{50}$ größer als mit der Änderung des $\dot{V}_{90}$, zwischen der Änderung des TGV und der des $\dot{V}_{95}$ besteht keine Beziehung. Die Korrelation des ΔTGV mit dem $\Delta \dot{V}_{25-75}$ ist besser bei den kleineren Kindern, mit dem $\Delta \dot{V}_{90}$ bei den größeren Kindern. Die Korrelation der Änderung der Flußrate mit der des Atemwegswiderstandes ist insgesamt besser als mit der Änderung des TGV. Sie nimmt ebenfalls im Verlauf der Expiration ab.

Im gesamten Verlauf findet sich eine bessere Korrelation bei den kleineren Kindern. Zwischen ΔR_{aw} und $\Delta \dot{V}_{90}$ besteht die Korrelation nur noch bei den kleinen Kindern, zwischen ΔR_{aw} und $\Delta \dot{V}_{95}$ besteht keine Beziehung mehr. Je weiter man in die Peripherie kommt, desto geringer wird der Anteil des Widerstandes dieser Atemwege am Atemwegsgesamtwiderstand. Dies erklärt sich mit der Bronchialgeometrie, da die Oberfläche der Atemwege nach peripher hin zunimmt und somit der visköse Widerstand fortlaufend abnimmt.

Nach Berotec ist die Änderung des TGV in der Mitte der Expiration besser mit der Änderung der Flußrate korreliert. Dies entspricht dem Ergebnis nach Belastung. Die Verschlechterung der Korrelation im Verlauf der Expiration ist aber nicht so deutlich wie nach Belastung. Die Korrelation ist selbst mit $\Delta \dot{V}_{95}$ noch sig-

nifikant auf dem 5%-Niveau. Es zeigt sich durchweg eine bessere Beziehung der Werte bei den größeren Kindern. Die Beziehung zwischen der Änderung der Flußrate und der Änderung des Atemwegswiderstandes bleibt in der ersten und zweiten Hälfte der forcierten Expiration etwa gleich stark, es findet sich kein Gefälle, wie wir es für die Korrelation der Werte nach Belastung deutlich beschrieben haben. Im mittleren Bereich der Expiration ist die Korrelation bei den kleinen Kindern besser, dies entspricht den Beobachtungen nach Belastung. In der 2. Hälfte der Expiration finden wir kein unterschiedliches Gruppenverhalten.

Tabelle 16

	r gesamt	Gr.I Gr.II	r I/II
$\Delta \dot{V}_{25-75} / \Delta TGV$	- 0,42	Gr.I Gr.II	- 0,39 - 0,51
$\Delta \dot{V}_{50} / \Delta TGV$	- 0,40	Gr.I Gr.II	- 0,45 - 0,43
$\Delta \dot{V}_{90} / \Delta TGV$	- 0,25	Gr.I Gr.II	- 0,29 - 0,16
$\Delta \dot{V}_{95} / \Delta TGV$	- 0,16	Gr.I Gr.II	- 0,16 - 0,10

Tab. 18

Korrelation der Änderung der Flußraten, $\Delta \dot{V}_{25-75}$, $\Delta \dot{V}_{50}$, $\Delta \dot{V}_{90}$, $\Delta \dot{V}_{95}$, mit der Änderung des TGV, ΔTGV , nach Belastung gegenüber vor Belastung. Der Korrelationskoeffizient r wurde für das Kollektiv insgesamt (r_{gesamt} , $n_{\text{gesamt}} = 82$) und getrennt für die Gruppe I (r_I Kinder größer 150 cm, $n_I = 44$) und die Gruppe II (r_{II} Kinder kleiner 150 cm, $n_{II} = 38$) berechnet.

Tabelle 19

	r gesamt	Gr.I Gr.II	r I/II
$\Delta \dot{V}_{25-75} / \Delta R_{aw}$	- 0,51	Gr.I Gr.II	- 0,53 - 0,55
$\dot{V}_{50} / \Delta R_{aw}$	- 0,51	Gr.I Gr.II	- 0,54 - 0,56
$\Delta \dot{V}_{90} / \Delta R_{aw}$	- 0,25	Gr.I Gr.II	- 0,26 - 0,39
$\Delta \dot{V}_{95} / \Delta R_{aw}$	- 0,14	Gr.I Gr.II	- 0,11 - 0,26

Tab. 19

Korrelation der Änderung der Flußraten, $\Delta \dot{V}_{25-75}$, $\Delta \dot{V}_{50}$, $\dot{V}_{50}$ und $\Delta \dot{V}_{95}$, mit der Änderung des Atemwegswiderstandes, R_{aw} , nach Belastung gegenüber vor Belastung. Der Korrelationskoeffizient r wurde für das Kollektiv insgesamt (r_{gesamt} , $n_{gesamt} = 82$) und getrennt für die Gruppe I (r_I , Kinder größer 150 cm, $n_I = 44$) und die Gruppe II (r_{II} , Kinder kleiner 150 cm, $n_{II} = 38$) berechnet.

Tabelle 20

	r gesamt	Gr.I Gr.II	r I/II
$\Delta\dot{V}_{25-75} / \Delta TGV$	- 0,44	Gr.I Gr.II	- 0,49
$\Delta\dot{V}_{50} / \Delta TGV$	- 0,44	Gr.I Gr.II	- 0,43 - 0,42
$\Delta\dot{V}_{90} / \Delta TGV$	- 0,34	Gr.I Gr.II	- 0,44 - 0,22
$\Delta\dot{V}_{95} / \Delta TGV$	- 0,32	Gr.I Gr.II	- 0,39 - 0,20

Tab. 20

Korrelation der Änderung der Flußraten $\Delta\dot{V}_{25-75}$, $\Delta\dot{V}_{50}$, $\Delta\dot{V}_{90}$ und $\Delta\dot{V}_{95}$, mit der Änderung des TGV, TGV, nach Gabe von Berotec gegenüber nach Belastung. Der Korrelationskoeffizient r wurde für das Kollektiv insgesamt (r_{gesamt} , $n_{\text{gesamt}} = 47$) und getrennt für die Gruppe I (r_I , Kinder größer 150 cm, $n_I = 27$) und die Gruppe II (r_{II} , Kinder kleiner 150 cm, $n_{II} = 20$) berechnet.

Tabelle 21

	r gesamt	Gr.I Gr.II	r I/II
$\Delta \dot{V}_{25-75} \Delta R_{aw}$	- 0,39	Gr.I Gr.II	- 0,37 - 0,46
$\Delta \dot{V}_{50} \Delta R_{aw}$	- 0,38	Gr.I Gr.II	- 0,37 - 0,43
$\Delta \dot{V}_{90} \Delta R_{aw}$	- 0,41	Gr.I Gr.II	- 0,44 - 0,39
$\Delta \dot{V}_{95} \Delta R_{aw}$	- 0,35	Gr.I Gr.II	- 0,35 - 0,32

Tab. 21

Korrelation der Änderung der Flußraten, $\Delta \dot{V}_{25-75}$, $\Delta \dot{V}_{50}$, $\Delta \dot{V}_{90}$ und $\Delta \dot{V}_{95}$, mit der Änderung des R_{aw} ,

R_{aw} , nach Gabe von Berotec gegenüber nach Belastung. Der Korrelationskoeffizient r wurde für das Kollektiv insgesamt (r_{gesamt} , $n_{gesamt} = 47$) und getrennt für die Gruppe I (r_I , Kinder größer 150 cm, $n_I = 27$) und die Gruppe II (r_{II} , Kinder kleiner 150 cm, $n_{II} = 20$) berechnet.

4. Diskussion

Ein erstes auffallendes Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist die Beobachtung einer außerordentlich großen Streubreite aller Meßwerte. Dies ist ein bei Kindern bekanntes Phänomen, das biomechanisch mit der Größe und Variabilität des Gesamtquerschnittes der Atemwege erklärt werden kann. Da sich nach dem Gesetz von Hagen-Poiseuille der visköse Widerstand umgekehrt proportional zur vierten Potenz des Radius verhält, haben auch nur geringe Schwankungen des Querschnittes der Atemwege merkliche Auswirkungen auf die abhängigen Meßwerte. Aus der Literatur (20, 40) ist auch bekannt, daß Kinder mit Asthma-Syndrom infolge der Hyperirritabilität ihres Bronchialbaumes eine größere Streuung ihrer Lungenfunktionswerte als gesunde Kinder aufweisen. Während gesunde Kinder, wie LINN und GLASEMANN (40) gezeigt haben, nach Belastung eine annähernd gleiche Standardabweichung wie vor Belastung haben, nimmt die Streubreite der Meßwerte nach Belastung in unserer Untersuchung erheblich zu, besonders bei der Messung des Atemwegswiderstandes und der Flußgeschwindigkeit.

Dies könnte einerseits auf einer durch die körperliche Belastung veränderten Bronchomotorik mit einer Anhebung der Atemmittellage beruhen. Andererseits scheint die große Streuung bei der Messung der Flußgeschwindigkeit, die während eines forcierten Expirationsmanövers gemessen wird, darauf hinzuweisen, daß eine nach Belastung verminderte Kooperationsfähigkeit der meist psychisch alterierten Kinder eine Rolle spielt. Eine Vergrößerung der Streuung könnte jedenfalls ein, wenn auch unsicherer Hinweis auf ein bestehendes Atemhinder nis sein (19, 25).

Die von LINN und GLASEMANN (40) an Hand ihrer Untersuchung gemachte Beobachtung, daß größere Kinder häufiger Belastungsreaktionen zeigen, läßt sich durch die vorliegende Arbeit nicht generell bestätigen. Die größeren Kinder haben zwar im Hinblick auf die Messung des Atemwegswiderstandes häufiger Belastungsreaktionen als die kleinen Kinder, außerdem haben sie eine stärkere Verminderung der FVC und der Flußgeschwindigkeit in der ersten Hälfte der Expiration zu verzeichnen. Dagegen sind eine TGV-Erhöhung im Sinne eines Anstrengungsasthmas sowohl im Gesamtdurchschnitt als auch in der Darstellung pathologischer Einzelergebnisse bei den kleinen Kindern häufiger zu beobachten. Bei den kleineren Kindern zeigt sich auch häufiger eine Verminderung der Flußgeschwindigkeit in der zweiten Hälfte der Expiration.

Ein weiterer auffallender Befund dieser Untersuchung an Kindern mit Asthma-Syndrom ist ein schon vor Belastung deutlich gegenüber dem an lungengesunden Kindern gefundenen Normwert erhöhtes thorakales Gasvolumen. Bei 62,2% der Kinder lagen die gemessenen Werte oberhalb des 2 SD-Bereichs der Normwerte. Dies ist, auch wenn keine klinischen Zeichen eines Asthma-Syndroms (Atemnot, Giemen) vorhanden sind, ein typisches Verhalten des TGV bei Kindern mit Asthma-Syndrom, das eine durch die Obstruktion verursachte Überblähung peripherer Lungenbezirke anzeigt.

Nach Belastung findet sich ein deutlicher Anstieg der TGV-Werte. GLASEMANN (40) beschreibt ein ähnliches Verhalten des TGV in ihrer Studie und erklärt dies mit einer Veränderung der Atemmittellage in inspiratorischer Richtung nach körperlicher Anstrengung und einer möglichen Zunahme der durch eine bronchiale Obstruktion von der Ventilation ausgeschlossenen Lun-

genbezirke ("trapped air").

In der Studie von LINN und GLASEMANN hatten vor Belastung 28% der Kinder mit Asthma-Syndrom über die 2 SD-Grenze der bei lungengesunden Kindern gefundenen Normwerte hinausgehende TGV-Werte, nach Belastung waren es 40% der Kinder. In unserem Kollektiv waren es vor Belastung 62,2% und nach Belastung 84,1% der Kinder. Uns erscheint, daß die von LINN ermittelten Normwerte für das TGV zu niedrig angegeben sind. Berücksichtigt man dies, so ist die Anzahl der Kinder in Prozent, die eine belastungsabhängige Verschlechterung ihrer TGV-Werte im Sinne eines Exercise-induced Asthma erfahren (= TGV-Werte oberhalb der 2 SD-Grenze), in unserer Untersuchung nur unwesentlich größer.

Weiterhin hatten wir gezeigt, daß besonders die kleinen Kinder (Gruppe II) mit einer überdurchschnittlichen TGV-Erhöhung auf die Belastung reagierten. Die Messung des TGV scheint also zumindest für diese Kinder einen sensiblen Parameter zur Erfassung von Belastungsreaktionen darzustellen.

Wie die Ergebnisse der Tabelle 3 zeigen, ist der Atemwegswiderstand nach Belastung erheblich größer als vorher. Die Standardabweichung ist außerordentlich hoch, sie beträgt 58,48%. Mit einer durchschnittlichen Zunahme um 40,6% zeigt dieser Lungenfunktionswert die größte Veränderung nach der körperlichen Belastung. Auch die Ergebnisse einzelner Kinder zeigen deutlich die Belastungsreaktion. Vor Belastung hatte ein Kind einen über die 2 SD-Grenze erhöhten R_{aw} , nach Belastung war dies bei 12 Kindern der Fall.

Eine Erhöhung des Atemwegswiderstandes ist bei

Kindern mit Asthma-Syndrom bekannt. Auch GLASEMANN (40) fand am häufigsten bei der Messung des Atemwegswiderstandes bzw. des spezifischen Atemwegswiderstandes ($R_{aw} \times TGV$) eine Belastungsreaktion. In Übereinstimmung mit ihrer Arbeit findet sich die Beobachtung, daß größere Kinder häufiger eine Widerstandserhöhung aufweisen.

In der Untersuchung von GLASEMANN hatten wesentlich mehr Kinder als in unserer Untersuchung schon vor Belastung über die doppelte Standardabweichung des Normwertes hinausgehende R_{aw} -Werte (27% vor Belastung, 54% nach Belastung). Man muß allerdings berücksichtigen, daß die von LINN (40) ermittelten Normwerte, auf die wir uns ebenfalls bezogen haben, höher liegen, als in der Literatur angegeben wird. Insgesamt erweist sich der R_{aw} als ein sensibler Parameter zur Aufdeckung pathologischer Belastungsreaktionen.

Wir haben die in unserer Untersuchung verwandten Lungenfunktionsparameter in zwei Gruppen unterteilt. Das TGV und der R_{aw} gehören zu den sogenannten mit arbeitsunabhängigen Parametern, die ganzkörperplethysmographisch in Atemmittellage bestimmt werden. Die mit arbeitsabhängigen Parameter, die FVC und die Flußgeschwindigkeit, werden während eines forcierten Atemmanövers gemessen. Auf die Messung der Flußgeschwindigkeit wird in den letzten Jahren zunehmend aufmerksam gemacht. Von ihrer Messung, besonders im letzten Teil der Expiration, der als weniger mit arbeitsabhängig gilt (35), werden Fortschritte in der Frühdiagnose und Lokalisation obstruktiver Atemwegserkrankungen erhofft. Zunehmend werden aber auch Zweifel an der Zuverlässigkeit und der Spezifität der Untersuchungsmethoden der forcierten Expiration geäußert

(16, 49, 67). WILSEMANN und VON DER HARDT geben zu bedenken, daß bei Kindern, besonders bei den meist psychisch beeinträchtigten Kindern mit Asthma-Syndrom, die Mitarbeit nicht kontrollierbar ist und somit das Vertrauen in die Meßwerte einschränkt. Hinzu kommt, daß die Bronchomotorik im forcierten Expirationsmanöver unphysiologisch verändert sein kann (32).

Atemmechanische Komponenten, die die Flußgeschwindigkeit im Verlauf der forcierten Expiration beeinflussen, zeigt die Darstellung der Volumina und Drucke entlang dem Bronchialbaum.

Von der Alveole bis zum Mund besteht ein Druckabfall vom Alveolardruck, der sich aus dem Pleuradruck und dem elastischen Retraktionsdruck der Lunge zusammensetzt, bis auf Null, dem peribronchial ein überall konstanter Druck, der Pleuradruck, entgegenwirkt. Der equal pressure point (EPP), der Punkt, an dem Endobronchial- und Peribronchialdruck gleich groß sind, teilt die Atemwege funktionell in ein peripheres, das Upstream-Segment und ein zentrales, das Downstream-Segment. Im Upstream-Segment ist der endobronchiale Druck um den elastischen Retraktionsdruck größer als der Pleuradruck. Da sich der elastische Retraktionsdruck nur mit den Lungenvolumina ändert, ist die Flußgeschwindigkeit in diesem Teil der Atemwege nicht durch die expiratorische Atemanstrengung zu beeinflussen (effort-independent). Im Downstream-Segment ist der endobronchiale Druck geringer als der peribronchiale, die treibende Druckdifferenz ist der Pleuradruck. In diesem Segment kann die Flußgeschwindigkeit durch vermehrte expiratorische Anstrengung gesteigert werden (effort-dependent), bis zum Erreichen der Flußlimitierung, die durch eine Kompression (dynamische Kompression) von außen infolge des negativen

transmuralen Druckgradienten zustande kommt. Die dynamische Kompression entspricht demnach einem Bronchial- bzw. Bronchiolen-Kollaps und führt somit zur endobronchialen Widerstandserhöhung. Oberhalb dieser Flußlimitierung ist die Flußgeschwindigkeit durch eine vermehrte Atemanstrengung nicht zu steigern.

Was geschieht während des forcierten Expirationsmanövers? Einige Autoren (47) haben eine Modellvorstellung entwickelt. Zu Beginn der forcierten Expiration nimmt die Flußgeschwindigkeit mit der expiratorischen Atemanstrengung (= Steigerung des Pleura-druckes) zu. Damit fällt der endobronchiale Druck steil ab und der EPP wandert peripherwärts, bis etwa 30-50% der Vitalkapazität ausgeatmet sind. Die in dieser Arbeit verwandten Meßparameter $\dot{V}_{25-75}$ und $\dot{V}_{50}$ messen die Flußgeschwindigkeit in diesem effort-dependent-Anteil der Atemwege, entsprechend der ersten Hälfte der Volumen-Zeit-Kurve der forcierten Expiration (vgl. Abb. 4).

In der zweiten Hälfte der Expiration, deren Flußgeschwindigkeit wir bei 90% und 95% der Vitalkapazität gemessen haben, ist die Flußgeschwindigkeit in den zentralen Abschnitten durch die oben beschriebene dynamische Kompression limitiert. Im effort-independant Upstream-Segment ist sie vom Volumen abhängig, das sich während der Expiration fortlaufend vermindert. Dies aber bedeutet sowohl eine Verminderung des elastischen Retraktionsdruckes als der treibenden Druckdifferenz in diesem Segment, als auch eine Erhöhung des Widerstandes, wie wir es besonders bei Kindern mit Asthma-Syndrom erwarten würden. Beide Faktoren vermindern die Flußgeschwindigkeit. Eine Widerstandserhöhung in diesen peripheren Atemwegen ist ganzkörperplethysmographisch kaum zu erfassen,

da der Anteil des Widerstandes der peripheren Atemwege am Gesamtlungenwiderstand weniger als 30% beträgt (34). Eine Verminderung der Flußgeschwindigkeit in der zweiten Hälfte der Expiration könnte aber auf Grund der oben beschriebenen Vorgänge indirekt auf eine Widerstandserhöhung im Upstream-Segment hinweisen.

Die Meßergebnisse der Flußgeschwindigkeit $\dot{V}_{25-75}$ und $\dot{V}_{50}$ weisen nach Belastung eine Verschlechterung um 11,37% bzw. 10,84% auf. Die Änderung dieser Werte ist zwar bei weitem nicht so ausgeprägt wie die Änderung des R_{aw} und des TGV, sie ist aber dennoch statistisch signifikant. Die Änderung der Flußgeschwindigkeit in der ersten Hälfte der Expiration korreliert am besten mit der Änderung des R_{aw} , der ebenfalls als ein Meßwert für die zentralen Abschnitte der Atemwege gilt. Aber auch die Korrelation mit der Änderung des TGV war gut (vgl. Tab. 18 und 19). Hingegen zeigte sich keine nennenswerte Verschlechterung der Flußgeschwindigkeit in der zweiten Hälfte der Expiration. Es findet sich hier auch keine Korrelation mit der Änderung der übrigen Parameter. Die Beobachtung von LINN und GLASEMANN (40), daß ein Exercise-induced Asthma häufiger bei ganzkörperplethysmographischer Messung des R_{aw} und des TGV als bei Messung der FVC oder der Flußgeschwindigkeit im forcierten Expirationsmanöver aufgedeckt wird, bestätigt sich durch diese Arbeit.

Die genannten Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß die pathologischen Veränderungen in der Lunge durch die Belastung vor allem in den zentralen Ab-

schnitten der Atemwege stattfinden. Unter der Annahme, daß die Veränderungen des TGV für die peripheren Atemwege charakteristisch sind, paßt die deutliche TGV-Erhöhung und die gute Korrelation mit der Änderung der Flußraten $\dot{V}_{25-75}$ und $\dot{V}_{50}$ allerdings nicht zu den übrigen Ergebnissen. Möglicherweise sind die Ursachen für diese TGV-Erhöhrungen bereits in den mittleren Atemwegsabschnitten zu suchen. Andererseits könnte die TGV-Erhöhrung auch auf eine Beteiligung der peripheren Atemwege hinweisen, die mit der plethysmographischen Messung des R_{aw} nicht zu erfassen ist. In diesem Fall hätte auch die Flußgeschwindigkeit in der zweiten Hälfte der forcierten Expiration keinen Hinweis gebracht, da eine, bei Beteiligung der kleinen Atemwege erwartete, pathologische Verminderung der Flußrate durch die Belastung nicht eingetreten ist.

Einen Erklärungsversuch für die Ursache des Exercise-induced Asthma gibt MCFADDEN (44). Er diskutiert einen Einfluß der Temperatur dahingehend, daß durch Abkühlung der Schleimhaut bei heftigem Atmen ein Belastungsasthma ausgelöst wird. Bei ruhiger Atmung wird die Atemluft langsam im Nasen- und Rachenraum erwärmt. Wenn jedoch unter Belastung heftig und hechelnd ein- und ausgeatmet wird, kann eine ausreichende Erwärmung der Atemluft in diesem Bereich nicht stattfinden. Die Atemluft kommt nun nicht genügend erwärmt in Kontakt mit der Schleimhaut der zentralen Atemwege und führt dort zur Bronchialobstruktion. Wie nun die Bronchialobstruktion ausgelöst wird, ist noch nicht hinreichend geklärt. Möglicherweise gibt es einen direkten Einfluß der kühleren Luft auf die glatten Muskelzellen. MCFADDEN hält aber auch eine reflektorische Broncho-

konstriktion oder eine Vermittlung der Reaktion durch adrenerge Rezeptoren oder Mastzellen für denkbar. Diese Überlegungen passen gut zu den Ergebnissen unserer Untersuchung, die auf eine Beteiligung der zentralen Atemwege am Exercise-induced Asthma hindeuten.

5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Erkenntnisse über Ort und Art der Veränderungen durch die körperliche Belastung in der Lunge zu gewinnen und, besonders im Hinblick auf die Analyse der forcierten Atemmanöver, Lungenfunktionsparameter zu bestimmen, die am zuverlässigsten diese pathologische Belastungsreaktion aufdecken. Hierzu wurden zwei Arten von Lungenfunktionswerten gemessen, die in Atemmittellage vorgenommene Messung des TGV und des R_{aw} sowie die im forcierten Expirationsmanöver gemessene FVC und die Flußgeschwindigkeiten $\dot{V}_{25-75}$, $\dot{V}_{50}$, $\dot{V}_{90}$ und $\dot{V}_{95}$.

Die genannten Untersuchungen wurden an 82 Kindern mit Asthma-Syndrom im symptomfreien Stadium vor und nach einer standardisierten Belastung und bei 47 unselektierten Kindern aus diesem Kollektiv zusätzlich nach Gabe von Berotec vorgenommen.

Es ergeben sich folgende Resultate:

1. Die Streuung der Ergebnisse ist schon vor Belastung beträchtlich und nimmt nach der Belastung zu. Somit kann die Größe der Standardabweichung als ein, wenngleich unsicherer Hinweis auf eine bestehende Atemwegsobstruktion betrachtet werden.
2. Pathologische Belastungsreaktionen finden sich in Übereinstimmung mit der Untersuchung von GLASEMANN (40) häufiger bei der Messung des R_{aw} und des TGV als bei der Untersuchung der forcierten Atemmanöver.
3. Die größte Verschlechterung der Werte durch die körperliche Anstrengung findet sich beim Atemwegswiderstand (40,6%) und hier wiederum bei den größeren Kindern (48,17%). Aber auch die TGV-Erhöhung ist beträchtlich (18,22%), wobei die Verschlechterung bei den kleinen Kindern ausgeprägter ist (26,52%).

4. Die Änderung der Flußgeschwindigkeit ist nur in der ersten Hälfte der forcierten Expiration, die den Fluß in den zentralen Atemwegen repräsentiert, signifikant. Die Verminderung der Flußgeschwindigkeit in diesem Anteil der Expiration korreliert gut mit der Erhöhung des R_{aw} und des TGV.
5. In der zweiten Hälfte der forcierten Expiration findet sich keine Verminderung der Flußrate, die auf eine Obstruktion in den peripheren Atemwegen hinweisen könnte. Es besteht keine Korrelation zur TGV- und R_{aw} -Erhöhung.
6. Die genannten Ergebnisse weisen darauf hin, daß die durch die körperliche Belastung ausgelösten Veränderungen vor allem in den zentralen Abschnitten der Atemwege zu suchen sind. Hierzu passen die Überlegungen von MCFADDEN (44) gut, der als Auslöser des Exercise-induced Asthma eine Abkühlung der Schleimhaut durch heftige In- und Expiration während der Belastung diskutiert.

Literaturverzeichnis

- 1 ANDERSON, S., N. CONNOLLY, S. GODFREY:
Comparison of bronchoconstriction induced by
cycling and running
Thorax (London) 26, 396 (1971)
- 2 AUSTEN, K. F. in: STEIN, M.:
New directions in asthma
Am. Collg. Chest. Phys. (1975)
- 3 BACHOFEN, H.: in:
Die mechanischen Eigenschaften der Lunge
Hans Huber, Bern - Stuttgart (1969)
- 4 BARGETON, D., G. BARRES:
Time characteristics and frequency response
of body plethysmograph
Body Plethysmography (Vol. 4, Progress in
Respiration Research, S. Karger, Basel (1969))
- 5 BRISCOE, W.A.:
Lung volumes
in: Handbook of Physiology, sect. 3, Vol. II,
p. 1345 (American Physiological Society,
Washington, D. C. (1965))
- 6 CLEMENT, J., K. P. VAN DE WOESTJNE:
Variability of maximum expiratory flow-volume
curves and effort independency
J. Appl. Physiol. 31 : 55 (1971)

- 7 COCHRANE, G. M., F. PRIETO, B. HICKEY,
S. R. BENATAR and J. H. CLARCK:
Early diagnosis of airways obstruction
Thorax 29, 369 (1974)
- 8 COCHRANE, G. M., S. R. BENATAR, J. DAVIS,
J. V. COLLINS and T. J. H. CLARCK:
Correlation between tests of small airway function
Thorax 29, 172 (1974)
- 9 COCHRANE, G. M., F. PRIETO and T. J. H. CLARCK:
Intrasubject variability of maximal expiratory
flow volume curve
Thorax 32, 171 (1977)
- 10 CROPP, G. J. A.:
Exercise-induced asthma
Pediat. Clin. North Am., 22, No.1, February 1975
- 11 CROPP, G. J. A.:
Relative sensitivity of different pulmonary
function tests in evaluation of exercise-induced
asthma
Pediatrics, 56, No. 5 Part 2, Nov. 1975
- 12 DE MUTH, G. R. and W. F. HOWATT:
The Growth of Lung Function, I. Forced flow rates
Pediatrics, 35, 200 (1965)

- 13 DOERSHUK, C. F., B. J. FISHER and L. W. MATTHEWS:
Specific airway resistance from perinatal period
into adulthood. Alterations in childhood pulmonary
disease
Am. Rev. Respir. Dis. (NY) 109, 452 (1974)
- 14 ENGSTRÖM, I.:
Acta Paediatr.Scand. (Stockholm), 49, 850 (1960)
- 15 ENGSTRÖM, I., P. KARLBERG, C. C. SWARTS:
Respiratory studies in children. Relationship
between mechanical properties of the lung, lung
volumes and ventilatory capacity in healthy
children 7-15 years of age
Acta Paediatr. (Stockholm) 51, 68 (1962)
- 16 FAIRSHTER, R. D., A. F. WILSON:
Relative sensitivities and specificities of tests
for small airways obstruction
Resp. 37, 301 (1979)
- 17 GEIGY, J. R. - AG:
Documenta Geigy, Wissenschaftliche Tabellen
6. Auflage (1960)
- 18 GELB, A. F., N. ZAMEL:
Simplified diagnosis of small-airway obstruction
N. Engl. J. Med. (Boston) 288, 395 (1973)

- 19 GEUBELLE, F.:
Contribution à l'étude fonctionnelle du poumon de
l'enfant sain et de l'enfant asthmatique.
Ed. Duculot (1965)
- 20 GEUBELLE, F. und D. HOFMANN:
Diagnostische Möglichkeiten beim Asthma-Syndrom
im Kindesalter
Monatsschr. Kinderheilkd. (Berlin) 119, 233 (1971)
- 21 GEUBELLE, F., V. VAVROVA, L. LAMBRECHTS:
Mesure de la pression intrathoracique chez l'enfant
Poumon Coeur (Paris) 10, 1075 (1969)
- 22 GODFREY, S.:
Exercise-induced asthma - clinical, physiological
and therapeutic implications
J. Allergy, Clin. Immunol. 56, No. 1, (1975)
- 23 GODFREY, S.:
Pediatr. Clin. North Am., 22, 147 (1975)
- 24 GODFREY, S., M. SILVERMAN, S. ANDERSON:
Problems of interpreting exercise - induced asthma
J. Allergy 52, 199 (1973) (Clin Immunol.) St. Louis
- 25 GÖTTFERT, G.:
Analyse der Atemwegswiderstände in Abhängigkeit
vom Volumen während ruhiger und forcierter Atmung
bei gesunden und asthmakranken Kindern
Inaugural-Dissertation Frankfurt (1976)

- 26 HARDT, H. von der und H. HELLWEG:
Pediatric aspects of small airways
Excerpta Medica (Amsterdam, Oxford, Princeton)
246 (1979)
- 27 HARDT, H. von der und R. NOWAK-BENEKE:
Lung volumes in healthy boys and girls, 6-15 years
of age
Lung 154 : 51 (1976)
- 28 HARDT, H. von der, C. ZYWIETZ:
Reliability in pneumotachographic measurements
Resp. (Basel, Respiration) 33, 416 (1976)
- 29 HOFMANN, D.:
Bronchiolalerkrankungen bei Kindern und Jugendlichen
DIA 2/77, 97
- 30 HOFMANN, D.:
Lungenfunktionsprüfungen und ihre Anwendung zur
Untersuchung atemmechanischer Besonderheiten im
Kindesalter
Habilitationsschrift, Frankfurt 1981
- 31 HOFMANN, D. und F. GEUBELLE:
Die Sekundenkapazität und der Lungengesamtwider-
stand bei Kindern mit Asthma-Syndrom
Helv. paediat. Acta, 29: 187 (1974)
- 32 HOFMANN, D. und F. GEUBELLE:
Die Sekundenkapazität und der Lungengesamtwider-
stand bei Kindern mit Asthmasyndrom
Helv. paediatr. Acta (Basel) 29, 269 (1974)

- 33 HOFMANN, D., R. WÜNNE, M. LINN und G. GLASEMANN:
Über die Häufigkeit des Anstrengungsasthmas
(Exercise Induced Asthma, EIA) im Kindesalter
Monatsschr. Kinderheilkd. 130, 91 (1982)
- 34 HUGG, J. C., P. T. HACKETT, W. M. THURLOCK:
Site and nature of airway obstruction in chronic
obstructive lung disease
Engl. J. Med. 278, 1355 (1968)
- 35 HYATT, R. E., D. P. SCHILDER, J. Y. FRY:
Relationship between maximum expiratory flow and
degree of lung inflation
J. Appl. Physiol. 31 : 55 (1971)
- 36 HYATT, R. E., R. E. WILCOX:
The pressure-flow relationships of the intra-
thoracic airway in man
J. Clin. Invest. 42: 29 (1963)
- 37 ISLAM, M. S.:
Bronchomotorische Reaktion auf inspiratorische Be-
lastung - eine mögliche Erklärung für Asthmaanfälle
durch körperliche Anstrengung
Resp. 31, 400 (1974)
- 38 ISLAM, M. S., W. T. ULMER:
Lokale Überempfindlichkeit sensorischer Rezeptoren
als Ursache reflektorischer Atemwegsobstruktion
Resp. 32, 445 (1975)

- 39 KAWABORI, I., W. Z. PIERSON, L. L. CONQUEST,
W. BIERMAN:
Incidence of exercise - induced asthma in children
J. Allergy Clin. Immunol., 58, 447 (1976)
- 40 LINN, M. und GLASEMANN, H.:
Untersuchungen über Auswirkungen einer körperlichen
Belastung auf verschiedene Lungenfunktionsparameter
bei gesunden Kindern und bei Kindern mit Asthma-
Syndrom.
Inaugural-Dissertation, Frankfurt (1978)
- 41 MACKLEM, P. T., J. MEAD:
Resistance of central and peripheral airways measured
by a retrograde catheter
J. Appl. Physiol. 22, 395 (1967)
- 42 MATTHYS, H.:
Lungenfunktionsdiagnostik mittels Ganzkörper-
plethysmographie
F. K. Schattauer-Verlag, Stuttgart, New York (1972)
- 43 MCFADDEN, E. R.:
An analysis of exercise as a stimulus for the
production of airway obstruction
Lung (Heidelberg) 159: 1 (1981)
- 44 MCFADDEN, E. R., D. A. LINDEN:
A reduction in maximum mid-expiratory flow rate.
A spirographic manifestation of small airway disease
Am. J. Med. 52, 725 (1972)

- 45 MCFADDEN, E. R. et al.:
Small airway Disease. An assessment of the tests
of peripheral airway function
Am. J. Med. 57, 171 (1974)(NY)
- 46 MEAD, J.:
Volume displacement body plethysmograph for res-
piratory measurements in human subjects
J. Appl. Physiol. 19, 813 (1964)
- 47 MEAD, J., J. M. TURNER, P. T. HACKLEN, J. D. LITTLE:
Significance of the relationship between lung
recoil and maximum expiratory flow
J. Appl. Physiol. 22, 95 (1967)
- 48 MEIER-SYDOW, J., U. H. CEGLA, R. DIERKESMANN:
Übersicht über einige neuere Begriffe der Atem-
mechanik
Prax. Pneumol. 30, 725 (1976)
- 49 MEIER-SYDOW, J. u. R. DIERKESMANN:
Funktionstests zur Abgrenzung peripherer Atemwegs-
erkrankungen
Atemwegs- und Lungenkrankheiten 5, Nr. 3, 210 (1979)
- 50 MOIRA, M. W., M. N. CHAN-YEUNG, S. VYAS,
GRZYBOWSKI:
Exercise - induced asthma
Am. Rev. Resp. Dis., 104 (1971)

- 51 NANCHEV, L.:
A forced expiration end-segment flow rate to improve
diagnosis of reversible bronchial obstruction
Resp. 36, 73 (1978)
- 52 NIEWOEHNER, D. E., J. KLEINERMAN:
Morphologic basis of pulmonary resistance in the
human lung and effects of aging
J. Appl. Physiol. 36, 412 (1974)
- 53 NOLTE, D., E. REIF, U. T. ULME:
Die Ganzkörperplethysmographie
Resp. 25, 14 (1968)
- 54 POLGAR, G., V. PROMADHAT:
Pulmonary function testing in children: Techniques
and standards
W. B. Saunders Comp. Philadelphia, London, Toronto
(1971)
- 55 PRIDE, N. B.:
The assessment of airflow obstruction, role of
measurements of airway resistance and of tests of
forced expiration (Review)
Br. J. Dis., Chest. 65, 135 (1971)
- 56 PRIDE, N. B., S. PERMUTT, R. L. RILEY, B. BROMBERGER-
BARNEA:
Determinants of maximal expiratory flow from the
lungs
J. Appl. Physiol. 23, 646 (1967)

- 57 RACINEUX, J. L., R. PESLIN, B. HANNHART:
Sensitivity of forced expiration indices to induced
changes in peripheral airway resistance
The American Physiological Society (1981)
- 58 RIVERA et al.:
Ventilatory studies in preschool children .
Peak expiratory flow rate in normal and abnormal
preschool children
Pediatrics, 30, 117 (1962)
- 59 Schmidt, R. F. und G. THEWS:
Einführung in die Physiologie des Menschen
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1976)
- 60 SILVERMAN, M., S. ANDERSON:
Standardization of exercise tests in asthmatic
children
Arch. Dis. Child. (London), 47, 802 (1972)
- 61 SIMONSON, G., B.-E. SKOOGH, G. EKSTRÖM-JÖDAL:
Exercise - induced airways constriction
Thorax 27, 169 (1972)
- 62 SOBOL, B. J., C. EMIRGIL:
Subject effort and the expiratory flow rate
Am. Rev. Resp. Dis. 89, 402 (1964)
- 63 SOIFER, H. M. et al.:
Metabolic change in exercise - induced and metabolic -
induced bronchospasm
J. Allergy (Clin. Immunol.) 57, 577 (1976)

- 64 WANNER, A.:
Small Airway Disease
Schweiz. Med. Wochenschr. 105, Nr. 20, 635 (1975)
- 65 WAYNE-SILVER, G., J. G. MAISEL, TH. L. PETTY,
G. F. FILLEY, R. S. MITCHELL:
Flow limitation during forced expiration in
excised human lungs
J. appl. Physiol. 36, 737 (1974)
- 66 WENG, T.-R., H. LEVISON:
Standards of pulmonary function in children
Am. Rev. Resp. Dis. 99, 879 (1969)
- 67 WIESEHANN, H., H. VON DER HARDT:
Reliability of flow-volume measurements in
children
Resp. 41: 181-187 (1981)
- 68 WILLIAMS, H. E., P. D. PHELAN:
Respiratory illness in children
Blackwell, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne (1975)
- 69 WOESTIJNE, K. P., VAN DE M. AFSCHRIFT, A. BOUHUYS:
Pressions ébites et volumes pulmonaires pendent la
respiration forcée.
Le Poumon et le Coeur 24: 969 (1968)
- 70 ZAPLETAL, A. et al.:
Maximum expiratory flow - volume curves and airway
conductance in children and adolescents
J. Appl. Physiol. 26, 308 (1969)

Lebenslauf

Am 31. August 1958 wurde ich, Andrea Koch geborene Schöppner, als zweites Kind der Eheleute Werner Schöppner und Marisa Schöppner geborene Rohr, in Frankfurt am Main geboren.

Nach der Grundschulzeit von 1965 bis 1968 besuchte ich die Musterschule, ein Gymnasium in Frankfurt am Main, wo ich am 22. Juni 1977 die Reifeprüfung ablegte. Im Wintersemester 1977/78 begann ich das Medizinstudium an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main. Die ärztliche Vorprüfung legte ich am 28. August 1979 erfolgreich ab. Den ersten Abschnitt der ärztlichen Prüfung bestand ich am 28. August 1980, den zweiten Abschnitt der ärztlichen Prüfung bestand ich am 20. August 1982. Vom 18. Oktober 1982 bis zum 18. September 1983 war ich als Studentin im "Praktischen Jahr" im Stadtkrankenhaus Offenbach tätig. Am 3. Oktober 1983 absolvierte ich den mündlichen - und am 12. Oktober 1983 den schriftlichen Teil des dritten Abschnittes der ärztlichen Prüfung. Die Approbation als Ärztin wurde mir am 10. November 1983 erteilt.

Seit dem 3. Juni 1983 bin ich mit Markus Koch verheiratet.

Frankfurt, den 30. 3. 1984

Andrea Koch

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die dem Fachbereich Humanmedizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel:

"Analyse der Atemstromstärke in
der zweiten Hälfte der forcier-
ten Expiration bei Kindern mit
Asthma-Syndrom"

im Zentrum der Kinderheilkunde der Johann Wolfgang Goethe-Universität unter Leitung von Professor Dr. D. Hofmann ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät bzw. Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt am Main, den 30.3.1984

Andrea Kog

